

TUGAS AKHIR - RF141501

**ANALISIS PARAMETER FISIS (VP, *BULK DENSITY*,
RESISTIVITAS) DAN GEOKIMIA UNTUK
KARAKTERISASI BATUAN KARBONAT KAWASAN
KARST PRINGKUKU, PACITAN**

Miftakhur Rahmat
NRP 3714100052

Dosen Pembimbing
Anik Hilyah, S.Si., MT.
NIP. 19790813 200812 2 002
Dr. Ayi Syaeful Bahri, S.Si, MT
NIP. 19690906 199702 1 001

DEPARTEMEN TEKNIK GEOFISIKA
Fakultas Teknik Sipil, Lingkungan dan Kebumihan

HALAMAN INI SENGAJA DIKOSONGKAN



TUGAS AKHIR - RF141501

**ANALISIS PARAMETER FISIS (VP, *BULK DENSITY*,
RESISTIVITAS) DAN GEOKIMIA UNTUK KARAKTERISASI
BATUAN KARBONAT KAWASAN KARST PRINGKUKU,
PACITAN**

**MIFTAKHUR RAHMAT
NRP 3714100052**

**Dosen Pembimbing
Anik Hilyah, S.Si, MT
NIP. 19790813 200812 2 002
Dr. Ayi Syaeful Bahri, S.Si, MT
NIP. 19690906 199702 1 001**

**DEPARTEMEN TEKNIK GEOFISIKA
Fakultas Teknik Sipil, Lingkungan dan Kebumihan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya
2018**

HALAMAN INI SENGAJA DIKOSONGKAN



UNDERGRADUATE THESIS - RF141501

***PETROPHYSICS (VP, BULK DENSITY, RESISTIVITY) AND
GEOCHEMICAL ANALYSIS OF CARBONATE ROCK IN
PRINGKUKU KARST REGION, PACITAN***

**MIFTAKHUR RAHMAT
NRP 3714100052**

Advisors

**Anik Hilyah, S.Si, MT
NIP. 19790813 200812 2 002
Dr. Ayi Syaeful Bahri, S.Si, MT
NIP. 19690906 199702 1 001**

***DEPARTMENT OF GEOPHYSICAL ENGINEERING
Faculty of Civil, Environment and Geo Engineering
Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya
2018***

HALAMAN INI SENGAJA DIKOSONGKAN

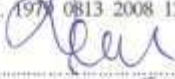

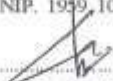
**ANALISIS PARAMETER FISIS (VP, RESISTIVITAS, DENSITY BULK)
DAN GEOKIMIA UNTUK KARAKTERISASI BATUAN KARBONAT
KAWASAN KARST PRINGKUKU, PACITAN**

TUGAS AKHIR

Ditujukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
Pada
Departemen Teknik Geofisika
Fakultas Teknik Sipil Lingkungan dan Kebumihutan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya

Surabaya, 26 Juli 2018

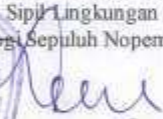
Menyetujui,

- 
1. Anik Hilyan, S.Si, M.T. (Pembimbing I)
NIP. 1978 0813 2008 12 2002
- 
2. Dr. Ayi Syaeful Bahri, S.Si., M.T. (Pembimbing II)
NIP. 1969 0906 1997 02 1001
- 
3. Dr. Ir. Anien Widodo, M.Si. (Penguji I)
NIP. 1959 1010 1988 03 1002
- 
4. Maryanto, S.Si., M.T. (Penguji II)
NIP. 1991201711044

Mengetahui,

Kepala Laboratorium Geofisika Eksplorasi
Departemen Teknik Geofisika
Fakultas Teknik Sipil Lingkungan dan Kebumihutan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya




Dr. Ayi Syaeful Bahri, S.Si., M.T.
NIP. 1969 0906 1997 02 1001

HALAMAN INI SENGAJA DIKOSONGKAN

**PERNYATAAN KEASLIAN
TUGAS AKHIR**

Dengan ini saya menyatakan bahwa isi sebagian maupun keseluruhan Tugas Akhir saya dengan judul “**ANALISIS PARAMETER FISIS (VP, *BULK DENSITY*, RESISTIVITAS) DAN GEOKIMIA UNTUK KARAKTERISASI BATUAN KARBONAT KAWASAN KARST PRINGKUKU, PACITAN** ” adalah benar benar hasil karya intelektual mandiri, diselesaikan tanpa menggunakan bahan-bahan yang tidak diijinkan dan bukan merupakan karya pihak lain yang saya akui sebagai karya sendiri.

Semua referensi yang dikutip maupun dirujuk telah ditulis secara lengkap pada daftar pustaka.

Apabila ternyata pernyataan ini tidak benar, saya bersedia menerima sanksi sesuai peraturan yang berlaku.

Surabaya, 26 Juli 2018

Miftakhur Rahmat
NRP. 3714100052

HALAMAN INI SENGAJA DIKOSONGKAN

ANALISIS PARAMETER FISIS (VP, *BULK DENSITY*, RESISTIVITAS) DAN GEOKIMIA UNTUK KARAKTERISASI BATUAN KARBONAT KAWASAN KARST PRINGKUKU, PACITAN

Nama Mahasiswa : Miftakhur Rahmat
NRP : 3714100052
Jurusan : Teknik Geofisika FTSLK-ITS
Dosen Pembimbing : 1. Anik Hilyah, S.Si, MT
2. Dr. Ayi Syaeful Bahri, S.Si, MT

ABSTRAK

Eksplorasi geofisika dapat dipergunakan untuk mengetahui potensi bawah permukaan di kawasan karst Pringkuku Pacitan. Analisis petrofisika dan geokimia merupakan penunjang eksplorasi geofisika yang perlu dilakukan untuk memaksimalkan teknik eksplorasi. Penelitian ini bertujuan untuk mengukur nilai parameter fisis (V_p , resistivitas dan densitas *bulk*) dan untuk identifikasi mineral penyusun batuan karbonat Pringkuku Pacitan. Hasil pengukuran batuan karbonat Pringkuku bagian barat daya adalah nilai V_p rata-rata sebesar 2880 m/s, resistivitas rata-rata sebesar 6832 ohm meter, dan densitas *bulk* rata-rata sebesar 2,23 kg/m³. Sementara batuan karbonat Pringkuku bagian tenggara mempunyai nilai V_p sebesar 2980 m/s, resistivitas rata-rata sebesar 3675 ohm meter dan densitas *bulk* dengan nilai 2,46 kg/m³. Nilai V_p yang lebih kecil dan resistivitas yang lebih besar untuk sampel batuan karbonat kering menunjukkan adanya porositas sekunder yang lebih besar. Dihubungkan dengan analisis petrologi dan geokimia, disimpulkan bahwa karstifikasi di daerah barat daya telah berkembang dengan baik sehingga batuan memiliki porositas sekunder yang lebih besar. Selain itu, batuan karbonat Pringkuku bagian barat daya juga menunjukkan adanya proses dolomitisasi, sedangkan batuan karbonat Pringkuku bagian timur laut mengandung periclase sebagai mineral sekunder yang merupakan mineral khas aktivitas hidrotermal dan/ atau magmatisme.

Kata Kunci: Analisis Parameter Fisis, Geokimia, Karst, Pacitan

HALAMAN INI SENGAJA DIKOSONGKAN

**PETROPHYSICAL (VP, BULK DENSITY, RESISTIVITY)
AND GEOCHEMICAL ANALYSIS OF CARBONATE ROCK
IN PRINGKUKU KARST REGION, PACITAN**

Name : Miftakhur Rahmat
NRP : 3714100052
Department : Geophysical Engineering FTSLK-ITS
Advisor : 1. Anik Hilyah, S.Si, MT
2. Dr. Ayi Syaeful Bahri, S.Si, MT

ABSTRACT

Geophysical exploration can be used to identify sub-surface potential in Pringkuku karst region, Pacitan. Petrophysical and geochemical analysis should be done to improve the geophysical exploration techniques. The purpose of this research is to measure the physical properties (Vp, resistivity, and bulk density) of Carbonate rocks in Pringkuku karst region and to identify the minerals it contains. The results of the measurement are, the southwest part of Pringkuku has Vp value of 2880 m/s, resistivity value of 6832 ohm meter, and bulk density of 2.46 kg/m³. Meanwhile the northeast part of the area has Vp value of 2980 m/s, average resistivity value of 3675 ohm meter and bulk density of 2.46 kg/m³. Smaller Vp values combined with higher resistivity values of dry carbonate rocks indicates a greater value of secondary porosity. Correlated with petrology and geochemical analysis, can be inferred that the karstification of the southwest part of the area is more developed, so that the rocks in this area has more secondary porosity. Besides, the southwest area also shows an indication of dolomitization, meanwhile the northeast counterpart has Periclase minerals which acts as a secondary mineral that associated with hydrotermic and/or magmatism.

Key words: Petrophysical analysis, Geochemical, Karst, Pacitan

HALAMAN INI SENGAJA DIKOSONGKAN

KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadiran Allah Yang Maha Esa karena atas limpahan rahmat dan karunia-Nya, sehingga pelaksanaan tugas akhir berjalan lancar dan pembuatan laporan tugas akhir yang berjudul “Analisis Parameter Fisis (V_p , *Bulk Density*, Resistivitas) dan Geokimia untuk Karakterisasi Batuan Karbonat Kawasan Karst Pringkuku, Pacitan” dapat diselesaikan dengan baik.

Dalam penyusunan laporan ini tidak terlepas dari peran berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis mengucapkan terima kasih kepada :

1. Bapak, ibu dan keluarga yang telah memberi dukungan moril dan materil selama perkuliahan hingga penyelesaian tugas akhir.
2. Bapak Ayi Syaeful Bahri sebagai promotor dan dosen pembimbing dari tugas akhir ini, dan Bu Anik Hilyah selaku dosen pembimbing utama yang telah banyak memberi masukan pada tugas akhir ini.
3. Seluruh dosen Departemen Teknik Geofisika ITS yang telah banyak memberikan ilmu selama penulis melakukan studi di Departemen Teknik Geofisika ITS.
4. Staf Departemen Teknik Geofisika ITS, atas bantuan teknis dan administrasi yang penulis dapatkan selama menjadi mahasiswa Departemen Teknik Geofisika ITS.
5. Tim TA Pacitan yang selalu memberikan dukungan dan kerja sama demi terselesaikannya tugas akhir ini.
6. Tim Geologi yang telah membantu proses pengambilan sampel batuan dan deskripsi batuan.
7. Tim Preparasi Sampel yang telah menyumbangkan tenaganya untuk *coring* dan *grinding*.
8. Warga desa Dersono, Pringkuku Pacitan yang telah berkenan memberi bantuan akomodasi selama proses pengambilan data di lapangan.
9. Pak Nardi sekeluarga yang telah memberi bantuan akomodasi selama survei pendahuluan.
10. Teman-teman TG03.
11. Segenap pihak yang telah membantu dan membimbing penulis yang tidak dapat disebutkan satu per satu.

Dengan segala keterbatasan, Tugas Akhir ini masih jauh dari sempurna. Oleh karena itu, saran dan kritik yang membangun sangat penulis harapkan untuk pengembangan di masa yang akan datang. Penulis berharap semoga

tugas akhir ini dapat memberikan manfaat bagi semua pihak dan diterima sebagai sumbangan pemikiran dalam pengembangan ilmu pengetahuan .

Surabaya, 26 Juli 2018

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	II
PERNYATAAN KEASLIAN	VIII
ABSTRAK	X
<i>ABSTRACT</i>	XII
KATA PENGANTAR	XIV
BAB I PENDAHULUAN	1
I.1 Latar Belakang	1
I.2 Perumusan Masalah.....	2
I.3 Batasan Masalah	2
I.4 Tujuan Penelitian	2
I.5 Manfaat Penelitian	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	4
2.1 Penelitian Sebelumnya.....	5
2.2 Geologi Regional Pringku ku.....	5
2.2.1 Fisiografi Regional	5
2.2.2 Stratigrafi Regional.....	7
2.2.3 Struktur Geologi Daerah Regional	9
2.3 Batuan Karbonat	9
2.4 Parameter Fisis Batuan Karbonat.....	10
2.5 Analisis Geokimia	13
2.5.3 Scanning Electron Microscopy (SEM) - Energy Dispersive X-Ray (EDX).....	13
2.5.4 X-Ray Diffractometer (XRD)	14

BAB III METODOLOGI.....	15
3.1 Lokasi Pengambilan Sampel	15
3.2 Alat Yang Dibutuhkan.....	16
3.3 Preparasi Sampel	16
3.4 Alur Interpretasi Data	17
3.5 Diagram Alir Penelitian.....	18
3.6 Rencana Kegiatan Penelitian	19
Bab IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....	20
4.1 Sampel Batuan	21
4.2 Petrologi Batuan Karbonat.....	23
4.2.1 Oyo Klastik Non Struktur.....	23
4.2.2 Oyo Klastik Struktur	24
4.2.3 Batugamping Terumbu Wonosari Non Struktur	26
4.2.4 Batugamping Terumbu Wonosari Struktur	27
4.3 Analisis Geokimia Batuan Karbonat Pringku Pacitan	28
4.3.1 Scanning Electron Microscopy (SEM)- Energy Dispersive X-Ray (EDX)	28
4.3.2 X-Ray Diffractometer	37
4.4 Parameter Fisika Batuan Karbonat	43
4.4.1 Kecepatan Primer.....	43
4.4.2 Resistivitas	46
4.4.3 Densitas	50
4.5 Korelasi Antar Parameter Fisis Batuan Karbonat Pringku Pacitan ..	51
4.6 Karakterisasi Batuan Karbonat Pringku Pacitan	54
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	58

5.1	Kesimpulan	59
5.2	Saran.....	60
	Daftar Pustaka	61
	Lampiran	63

HALAMAN INI SENGAJA DIKOSONGKAN

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Pembagian Fisiografi Regional Jawa bagian Tengah dan Timur.....	4
Gambar 2.2 Peta Geologi Daerah Penelitian.....	6
Gambar 2.3 Stratigrafi barat Pegunungan Selatan dari beberapa peneliti.....	7
Gambar 2.4 Nilai densitas batuan sedimen	9
Gambar 2.5 Nilai Resistivitas Beberapa Batuan. (Schoen, 2011)	10
Gambar 2.6 Nilai resistivitas mineral	11
Gambar 2.4 Kecepatan primer mineral karbonatan	12
Gambar 3.1 Lokasi pengambilan sampel batuan.....	15
Gambar 3.2 Preparasi sampel batuan	17
Gambar 3.3 Diagram alir keseluruhan penelitian	18
Gambar 4.1 (a) citra SEM perbesaran 5000 kali untuk batuan karbonat klastik formasi oyo yang tidak dipengaruhi struktur. (b) citra SEM perbesaran 10000 kali untuk batuan karbonat klastik formasi oyo yang tidak dipengaruhi struktur.....	29
Gambar 4.2 Grafik komposisi unsur yang terekam oleh <i>Energy Dispersive X-Ray</i> untuk kode sampel OTB.....	30
Gambar 4.3 (a) citra SEM perbesaran 5000 kali untuk batuan karbonat klastik formasi oyo yang dipengaruhi struktur. (b) citra SEM perbesaran 10000 kali untuk batuan karbonat klastik formasi oyo yang dipengaruhi struktur.	31
Gambar 4.4 Grafik komposisi unsur penyusun batuan OPS	31
Gambar 4.5 (a) citra SEM perbesaran 5000x untuk batugamping terumbu formasi wonosari yang tidak dipengaruhi struktur. (b) citra SEM perbesaran 10000x untuk batugamping terumbu formasi wonosari non struktur.....	32
Gambar 4.6 Grafik komposisi unsur penyusun batuan karbonat terumbu formasi wonosari non struktur.....	32
Gambar 4.7 (a) citra SEM perbesaran 5000x untuk batugamping terumbu formasi wonosari yang dipengaruhi struktur. (b) citra SEM perbesaran 10000x untuk batugamping formasi wonosari yang dipengaruhi struktur	33
Gambar 4.8 Grafik komposisi unsur penyusun batuan W4.....	33

Gambar 4.9 (a) citra SEM perbesaran 5000x untuk batugamping terumbu formasi wonosari yang dipengaruhi struktur. (b) citra SEM perbesaran 10000x untuk batugamping terumbu formasi wonosari yang dipengaruhi struktur.....	34
Gambar 4.10 Grafik komposisi unsur penyusun batuan W9	34
Gambar 4.11 Hasil XRD untuk kode sampel OTB (Formasi Oyo klastik non struktur).....	35
Gambar 4.12 Hasil XRD untuk kode sampel OPS (Formasi Oyo klastik Struktur)	38
Gambar 4.13 Hasil XRD untuk kode sampel batuan W3 (Batugamping Terumbu Wonosari Non Struktur).....	39
Gambar 4.14 Hasil XRD untuk kode sampel batuan W4 (Batugamping Terumbu Wonosari Struktur)	40
Gambar 4.15 Hasil XRD untuk kode sampel batuan W9	41
Gambar 4.16 Hubungan antara Vp dan resistivitas untuk satuan batuan karbonat klastik.....	52
Gambar 4.17 Hubungan antara Vp dan resistivitas untuk satuan batuan karbonat terumbu.....	53
Gambar 4.18 Kandungan periclase pada sampel batuan	54
Gambar 4.19 Dolomitasi di daerah Pringku Pacitan	55
Gambar 4.20 Derajat karstifikasi di daerah Pringku Pacitan.....	56

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1 Jadwal Kegiatan Penelitian Tugas Akhir	19
Tabel 4.1 Sampel batuan karbonat pringku Pacitan	21
Tabel 4.2 Komposisi unsur yang terkandung dalam sampel	29
Tabel 4.3 Persentase unsur penyusun batuan OPS	31
Tabel 4.4 Persentase unsur penyusun batuan karbonat wonosari non struktur	32
Tabel 4.5 Persentase unsur penyusun batuan karbonat wonosari yang dipengaruhi oleh struktur.....	34
Tabel 4.6 Persentase unsur penyusun sampel batuan W9.....	36
Tabel 4.7 Persentase mineral penyusun hasil matching XRD	37
Tabel 4.8 Persentase mineral penyusun batuan OPS	38
Tabel 4.9 Komposisi mineral batuan W3	40
Tabel 4.10 Komposisi mineral batuan W4.....	41
Tabel 4.11 Komposisi mineral batuan W9.....	42
Tabel 4.12 Hasil pengukuran kecepatan primer	43
Tabel 4.13 Rata-rata nilai vp tiap parameter batuan	44
Tabel 4.14 Hasil pengukuran resistivitas sampel batuan karbonat.....	46
Tabel 4.15 Nilai rata-rata resistivitas batuan setiap parameter batuan	48
Tabel 4.16 Hasil pengukuran densitas sampel batuan.....	50
Tabel 4.17 Nilai rata-rata densitas batuan untuk setiap parameter batuan	50
Tabel 4.18 Hubungan antara parameter fisika dengan derajat karstifikasi	57

HALAMAN INI SENGAJA DIKOSONGKAN

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Kabupaten Pacitan mempunyai luas wilayah 1434 km², 80% dari total area adalah wilayah berbukit dan bergunung dengan kelereng >15%. Dari luas daerah pegunungan tersebut, 22,2% adalah perbukitan berbatuan gamping atau lebih dikenal dengan kawasan karst (Bappeda, 2013). Kawasan karst Pacitan dengan morfologinya yang unik mampu menjadikan suatu bentang alam sebagai *Geopark* atau Taman bumi. *Geopark* (Taman Bumi) merupakan daerah dengan batasan yang sudah ditetapkan dengan jelas dan memiliki kawasan permukaan yang cukup luas untuk pembangunan ekonomi lokal. *Geopark* terdiri dari sejumlah tapak geologi yang memiliki kepentingan ilmiah khusus dan kelangkaan atau keindahan alam. *Geopark* tidak hanya berhubungan dengan geologi tetapi juga arkeologi, ekologi, nilai sejarah atau budaya dan memiliki tiga unsur yaitu keanekaragaman geologi (*geodiversity*), keanekaragaman hayati (*biodiversity*) dan keanekaragaman budaya (*cultural diversity*). (Permadi, 2014)

Sebagai langkah awal untuk mewujudkan kawasan Karst Pacitan sebagai *Geopark* maka diperlukan berbagai macam metode eksplorasi untuk menetakan dengan baik potensi alam yang akan ditonjolkan. Penelitian ini berfokus pada wilayah Kecamatan Pringkuku, Kabupaten Pacitan. Hal ini dikarenakan Pringkuku yang berada di Pacitan bagian selatan merupakan wilayah dominasi karst, sementara Pacitan bagian Utara didominasi oleh batuan vulkanik. Selain itu, Pringkuku juga memiliki dua variasi formasi batuan karbonat, yaitu formasi Oyo dengan dominasi batuan karbonat klastik dan formasi Wonosari yang didominasi batuan karbonat non-klastik (Hertanto, 2011).

Penelitian serupa mengenai analisis petrofisika dan geokimia telah dilakukan untuk wilayah karst yang lain, salah satunya, berjudul, 'Pengukuran Parameter Seismik dan Difraksi Sinar X (XRD) pada batuan karbonat formasi Parigi'. Penelitian ini menitikberatkan pada perhitungan parameter seismik seperti V_p, V_s dan *poisson* ratio. Sementara analisis geokimia ditunjang dengan alat XRD yang berhasil mendapatkan komposisi mineral batuan karbonat yang berupa kalsit. (Habibi, 2017). Berbeda dengan penelitian tersebut, dalam penelitian ini dilakukan pengukuran parameter fisis seperti resistivitas, kecepatan gelombang primer dan densitas. Metode analisis geokimia yang dipergunakan juga akan dilengkapi oleh *Scanning Electron Microscopy (SEM)*

dan *Energy Dispersive X-Ray (EDX)*. Nilai resistivitas yang didapat akan dipergunakan untuk membantu analisis interpretasi hasil metode geofisika resistivitas 2D dan 1D, sementara nilai kecepatan primer dapat digunakan acuan untuk interpretasi metode mikrotremor. Nilai densitas yang diukur akan dikombinasikan dengan hasil analisis uji geokima untuk mendapat karakteristik fisik batuan. Korelasi dari analisis keduanya diharapkan menghasilkan karakterisasi yang cukup mumpuni mengenai sifat fisik batuan karbonat kawasan karst Pacitan disertai dengan identifikasi komponen penyusun dominannya hingga derajat kartisifikasinya.

1.2 Perumusan Masalah

1. Bagaimana cara mengidentifikasi parameter fisis batuan (Resistivitas, V_p dan *Bulk density*) untuk batuan karbonat Pringkuku Pacitan ?
2. Bagaimana cara mengidentifikasi mineral penyusun batuan karbonat Pringkuku Pacitan?
3. Bagaimana karakteristik batuan karbonat formasi karst Pringkuku dilihat dari mineral penyusun, struktur mikro, dan parameter fisisnya?

1.3 Batasan Masalah

1. Batuan yang diuji dengan analisis petrofisika dan geokimia adalah sampel batuan karbonat permukaan dari formasi karst, Kecamatan Pringkuku, Pacitan.
2. Parameter fisis yang dicari dalam penelitian ini adalah: Densitas *Bulk*, Resistivitas, dan Kecepatan gelombang primer (V_p).
3. Analisis geokimia meliputi uji kandungan mineral penyusun, struktur mikro, dan komposisi unsur batuan karbonat kawasan karst Kecamatan Pringkuku, Pacitan.
4. Uji petrofisika menggunakan skala laboratorium

1.4 Tujuan Penelitian

1. Mengidentifikasi parameter fisis batuan (Resistivitas, V_p dan *Bulk density*) untuk batuan karbonat Pringkuku Pacitan ?
2. Mengidentifikasi mineral penyusun batuan karbonat Pringkuku Pacitan?
3. Menganalisis karakteristik batuan karbonat formasi karst Kecamatan Pringkuku Pacitan dilihat dari mineral penyusun, struktur, dan parameter fisisnya.

1.5 Manfaat Penelitian

1. Sebagai langkah awal pengembangan kawasan karst Pacitan sebagai laboratorium alam yang berkelanjutan.
2. Nilai parameter fisis batuan yang terukur dapat dijadikan sebagai input data dalam *forward modelling*, parameter desain akusisi, hingga data pelengkap interpretasi metode geofisika.

HALAMAN INI SENGAJA DIKOSONGKAN

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Sebelumnya

Penelitian sebelumnya yang dilakukan di wilayah Pacitan merupakan pengukuran metode geofisika meliputi metode mikrotremor, VLF, dan resistivitas. Pengukuran tersebut bertujuan untuk mendapatkan peta jalur sungai bawah permukaan di wilayah Pacitan. Penelitian geofisika tersebut mengaplikasikan nilai parameter fisika batuan karbonat secara umum, padahal setiap daerah karbonat mempunyai keunikan tersendiri. Sementara penelitian lain mengenai petrofisika dan geokimia untuk daerah Pacitan belum pernah dilakukan.

Penelitian analisis petrofisika dan geokimia untuk batuan karbonat sendiri telah dilakukan sebelumnya untuk wilayah karst lain. Salah satunya adalah, 'Karakterisasi Parameter Petrofisika dan Model 3D Reservoir Karbonat Menggunakan *Micro Computed Tomography*' yang menghasilkan sebuah model reservoir 3D dengan menghitung parameter fisika batuan seperti porositas, permeabilitas dan saturasi fluida. Ditunjang pula dengan analisis geokimia menggunakan mikroskop elektron dan CT-Scan.

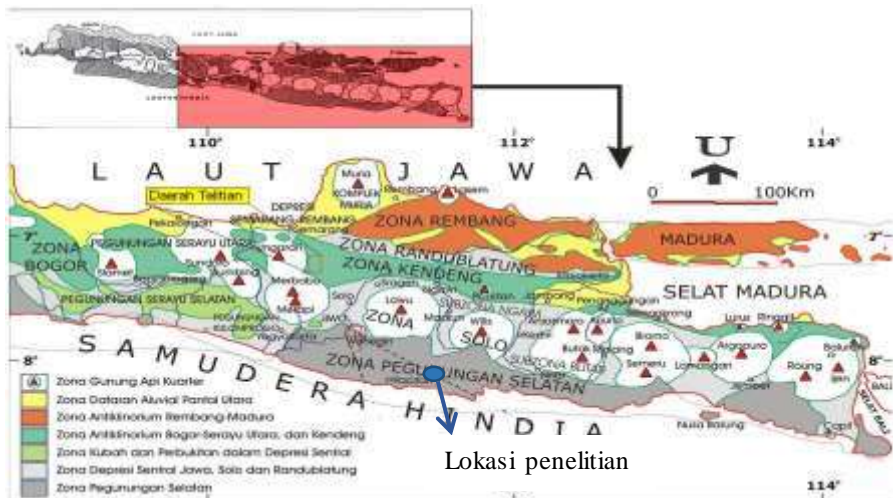
(Adler & Endar, 2007)

Penelitian lainnya berjudul, 'Pengukuran Parameter Seismik dan Difraksi Sinar X (XRD) pada batuan karbonat formasi Parigi'. Penelitian ini menitikberatkan pada penghitungan parameter seismik seperti V_p , V_s dan *poisson ratio*, analisis geokimia ditunjang dengan alat XRD yang berhasil mendapatkan komposisi mineral batuan karbonat yang berupa kalsit. (Habibi, 2017)

2.2 Geologi Regional Pringkuku

2.2.1 Fisiografi Regional

Secara umum Jawa Timur dibagi menjadi 4 (empat) zona jalur fisiografi, yaitu Zona Rembang di bagian Utara, kemudian ke bagian Selatan terdapat Zona Kendeng, kemudian Zona Solo dan di bagian paling Selatan adalah Zona Pegunungan Selatan. (Van Bemmelen, 1949)



Gambar 2.1 Pembagian Fisiografi Regional Jawa bagian Tengah dan Timur. (Van Bemmelen, 1949). Terdapat 4 (empat) zona fisiografi di Jawa Timur, yaitu Zona Rembang di bagian Utara, kemudian ke bagian Selatan terdapat Zona Kendeng, kemudian Zona Solo dan di bagian paling Selatan adalah Zona Pegunungan Selatan

Berdasarkan Gambar 2.1 lokasi penelitian ditandai dengan titik biru yang merupakan bagian dari Pegunungan Selatan. Zona Pegunungan Selatan di Jawa Timur merupakan blok yang terangkat dan miring ke arah selatan dan merupakan hasil perlipatan pada Miosen dan berlanjut ke arah timur yaitu Nusa Tenggara Barat dan Nusa Tenggara Timur. Daerah Pegunungan Selatan membujur dari Yogyakarta ke arah timur, Wonosari, Wonogiri, Pacitan menerus ke daerah Malang selatan, terus ke daerah Blambangan. Daerah ini merupakan perbukitan berelief sedang-terjal pada bagian utara, dataran tinggi karst di bagian tengah, dan perbukitan kerucut karst di bagian selatan (Gunung Sewu).

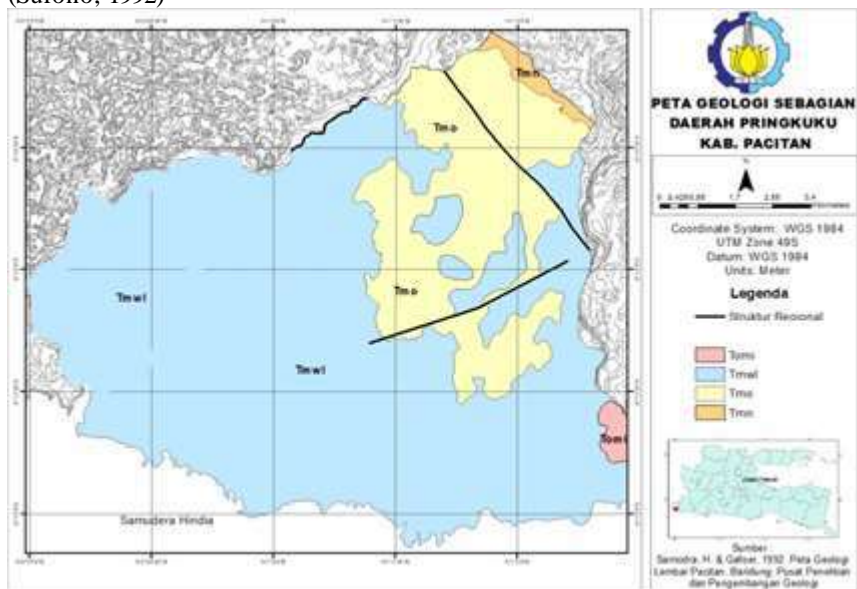
Kawasan karst Gunung Sewu dihasilkan oleh pengangkatan yang dimulai pada Pleistosen Akhir. Bagian utara kawasan karst Gunungsewu dibatasi oleh cekungan (basin) Wonosari dan Baturetno yang tersusun atas material gamping, namun memiliki tingkat karstifikasi yang tidak intensif. Kedua cekungan ini memisahkan kawasan Karst Gunung Sewu dengan pegunungan berbatuan

sedimen vulkano klastik yang lebih dikenal dengan Pegunungan Baturagung. (Haryono dkk., 2017).

Kawasan karst Gunung Sewu terdiri dari batu gamping berumur miosen tengah. Perkembangan topografi karst dengan kenampakan permukaan berupa dolina-dolina yang dipisahkan oleh bukit-bukit yang terlihat membulat yang disebut kubah kapur, dan sungai bawah permukaan.

2.2.2 Stratigrafi Regional

Daerah penelitian termasuk ke dalam sebagian Peta Geologi Regional Lembar Pacitan (Samodra & Gafoer, 1990) dan Lembar Surakarta-Girintoro. (Surono, 1992)



Gambar 2. 2 Peta Geologi Daerah Penelitian (Samodra dan Gafoer, 1990) dimodifikasi oleh (Aliyan, 2018) berupa penarikan 2 sesar mendatar yang berarah timur laut-barat daya berdasarkan analisis tegasan dan kekar.

Gambar 2.2 menunjukkan peta geologi daerah penelitian yang berada di Desa Dersono Kecamatan Pringkuku. Daerah penelitian termasuk dalam pegunungan selatan di Jawa Timur. Batuan yang menjadi dasar pada

pegunungan selatan adalah batuan metamorf yang berumur Kapur-Paleosen Awal. Susunan litostatigrafi pegunungan selatan (dari tua ke muda) yaitu Kelompok Formasi Wungkul Gamping, Kebo Butak, Semilir, Nglanggran, Sambipitu, Oyo, Wonosari dan Kepek. (Surono, 1992).

KALA		ZONASI BLOW (1969)	PENELITI			
			BOTHE (1929)	VAN SEMMELEN (1949)	SUMARSO- ISMOYOWATI (1975)	SURONO, dkk. (1992)
HOLOSEN	PLISTOSEN	N.23			Endapan Vulkanik Muda dan Aluvium	
		N.22				
PLIOSEN		N.21				
		N.20				
		N.19				
		N.18				
		N.17				
		N.16				
		N.15	Kepek			Kepek
		N.14		Wonosari		Wonosari
		N.13				
		N.12	Wonosari	Sambipitu	Wonosari	Wonosari
MIOSEN	TENGAH	N.11		Nglanggran		
		N.10		Semilir		
		N.9	Oyo	Kebo Butak		Oyo
		N.8				
		N.7				
		N.6	Sambipitu		Semilir	Sambipitu
		N.5	Nglanggran			Semilir
		N.4				
		N.3 (P.22)	Semilir		Kebo Butak	Kebo Butak
		N.2 (P.21)	Kebo Butak			
OLIGOSEN	AKHIR	N.1 (P.20)				
		P.19				
		P.18				
		P.16				
EOSEN	AKHIR	P.15			Gamping	
		P.14				
		P.13	Wungkal Gamping		Wungkal	Wungkal Gamping

Gambar 2. 3 Stratigrafi barat Pegunungan Selatan dari beberapa peneliti. Formasi daerah penelitian terdiri dari formasi Oyo dan Wonosari yang saling menjemari (Karlina Triana, 1992)

Gambar 2.3 merupakan Stratigrafi barat dan timur zona Pegunungan Selatan. Kotak merah menunjukkan formasi pada lokasi penelitian yang berada di Desa Dersono Kecamatan Pringkuku, Pacitan yang masuk dalam formasi wonosari (Tmwl). Formasi Wonosari tersusun atas batu gamping terumbu, batu

gamping berlapis, batu gamping mengeping, batu gamping pasir, dan napal. Ketebalan formasi ini diduga lebih dari 800 meter. Kedudukan stratigrafinya di bagian bawah menyebar dengan Formasi Oyo. Batugamping pada Formasi Wonosari ditemukan fosil foraminifera besar berupa *Miogyssina sp.* dan *Lapidocyclina sp.* Berumur Miosen Tengah hingga Miosen Akhir, dan terbentuk di lingkungan laut. (Samodra dan Gafoer, 1990)

2.2.3 Struktur Geologi Daerah Regional

Daerah penelitian dilewati oleh dua sesar mendatar, yaitu Sesar Punung yang berarah Barat Laut – Tenggara dan Sesar Grendulu yang berarah timurlaut – baratdaya. Menurut (Van Bemmelen, 1949), daerah Pegunungan Selatan telah mengalami empat kali pengangkatan. Pola struktur di daerah penelitian dengan arah Barat Laut – Tenggara umumnya merupakan sesar geser dekstral dan arah Timur Laut – Barat Daya umumnya merupakan sesar geser sinistral yang terjadi akibat penunjaman lempeng Indo-Australia selama Eosen hingga Miosen Tengah. Menurut pendugaan sementara bahwa dua sesar ini merupakan bagian penting sebagai indikasi tegasan pengontrol pada sungai bawah permukaan yang berada di daerah penelitian.

Menurut penelitian Aliyan (2018), struktur geologi yang terbentuk di daerah penelitian berupa sesar normal dan sesar mendatar terlihat seperti pada gambar 2.2, pada dasarnya sesar - sesar tersebut terbentuk hasil deformasi tektonik setelah semua satuan batuan pada daerah penelitian terendapkan. Sesar yang teraktifkan kembali di daerah penelitian berupa sesar berarah Timur Laut – Barat Daya, serta sesar mendatar berarah Barat Laut-Tenggara. Sesar mendatar berarah Timur Laut-Barat Daya yaitu Sesar Ngadirejan dan Sesar mendatar berarah Barat Laut-Tenggara yaitu Sesar Barong.

2.3 Batuan Karbonat

Batuan karbonat adalah batuan sedimen yang mengandung mineral karbonat lebih dari 50%. Sedangkan mineral karbonat adalah mineral mengandung CO_2 dan satu atau lebih kation Ca, Mg, Fe, dan Mn. Batuan karbonat umumnya terdiri atas batugamping (*limestone*) dengan kalsit (CaCO_3) sebagai mineral utama dan batu dolomit (*dolostone*) yang penyusun utamanya berupa mineral dolomit ($\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$). Sedimen karbonat, yang dijumpai di dunia, kebanyakan terbentuk pada lingkungan laut dangkal dan beberapa di antaranya terbentuk di daerah terestrial, tetapi laut dangkal tropis. (Boggs, 2009)

2.4 Parameter Fisis Batuan Karbonat

2.4.1 Densitas Batuan

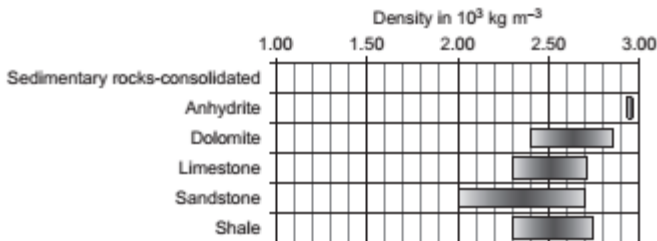
Densitas merupakan salah satu karakter fisis batuan yang dapat berubah secara signifikan terhadap perubahan tipe batuan akibat mineral dan porositas yang dimiliki batuan tersebut. Densitas (ρ) merupakan perbandingan massa (m) batuan per satuan unit volume (V) :

$$\rho = m/V, \text{ dengan satuan gram/cc} \quad (2.1)$$

Sedangkan untuk mengetahui densitas *bulk* ada beberapa faktor yang mempengaruhi nilainya diantaranya komposisi mineral (densitas mineral dan fraksi volume), porositas (pori dan *fracture*), dan porositas fluida pori batuan. Untuk mendapatkan nilai densitas *bulk* batuan digunakan persamaan dibawah ini:

$$\rho = \sum_{i=1}^n \rho_i \cdot V_i \quad (2.2)$$

(Schoen, 2011)



Gambar 2.4 Nilai densitas batuan sedimen untuk batuan karbonat dan beberapa batuan lain sebagai pembanding.

Batuan sedimen karbonatnya pada umumnya mempunyai nilai densitas yang bergantung pada porositas batuannya. Nilai umum densitas batuan karbonat, khususnya batu gamping, adalah sebesar 2,3 – 2,7 kg/m³.

(Schoen, 2011)

2.4.2 Resistivitas Batuan

Konsep dasar metode resistivitas adalah Hukum Ohm. Pada tahun 1826, George Simon Ohm melakukan eksperimen menentukan hubungan antara tegangan V pada penghantar dan arus I yang melalui penghantar dalam batas-batas karakteristik parameter penghantar. Parameter itu disebut resistansi R ,

yang didefinisikan sebagai hasil bagi tegangan V dan arus I , sehingga dituliskan:

$$R = \frac{V}{I} \quad (2.3)$$

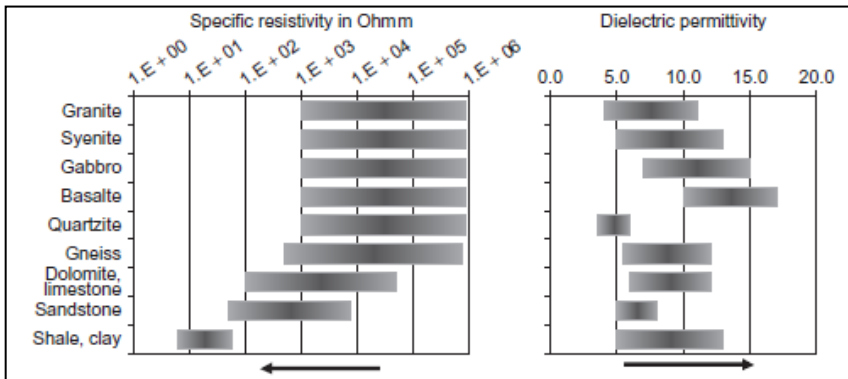
dengan R adalah resistansi bahan (ohm), I adalah besar kuat arus (ampere), dan V adalah besar tegangan (volt).

Arus listrik I pada sebuah penghantar didefinisikan sebagai jumlah muatan listrik positif (dq) yang melewati penampang penghantar itu dalam arah tegak lurus per satuan waktu (dt), sehingga dapat ditulis:

$$I = \frac{dq}{dt} \quad (2.4)$$

Kuat arus listrik pada penampang juga bergantung pada jenis penghantar yang dinyatakan oleh resistivitas penghantar (ρ) yang dinyatakan dalam Ohm.meter (Ωm) atau besaran konduktivitas σ yang memenuhi hubungan yang dinyatakan dalam (ohmmeter)⁻¹. Hubungan antara besar arus listrik dan resistivitas penghantar dapat ditulis sebagai berikut:

$$I = \sigma A \frac{\Delta V}{t} \quad (2.5)$$



Gambar 2.5 Nilai resistivitas dan dielektrik beberapa jenis batuan. (Schoen, 2011)

TABLE 8.1 Specific Electrical Resistivity R and Relative Permittivity ϵ_r (at Radiofrequencies) of Selected Minerals

Mineral	R ohm m (O)	ϵ_r (O)	ϵ_r (K)	Mineral	R ohm m (O)	ϵ_r (O)	ϵ_r (K)
Silicates				Sulfates			
Quartz	$2.0 \cdot 10^{14}$	4.5	4.2–5.9	Anhydrite	$1.0 \cdot 10^9$	6.5	
Amphibole, Hornblende	$4.8 \cdot 10^{10}$	8.0		Gypsum	$1.05 \cdot 10^{11}$	6.4	5.0–11.5
Microcline	$1.8 \cdot 10^{11}$	5.48		Apatite	$8.3 \cdot 10^{11}$	11.7	7.4–10.5
Orthoclase	$1.4 \cdot 10^{12}$	5.6		Barite	$1.2 \cdot 10^7$	10.0	7.0–12.2
Albite	$4.8 \cdot 10^8$	6.95	5.3–5.5	Halides			
Anorthite	$7.7 \cdot 10^9$	6.9	7.0–7.2	Halite	$5.0 \cdot 10^{13}$	5.9	5.7–6.2
Labradorite	$6.3 \cdot 10^8$	5.87		Sylvite			4.4–6.2
Muscovite	$2.2 \cdot 10^{12}$	7.6	6.2–8.0	Fluorite	$7.7 \cdot 10^{13}$	6.76	6.79
Biotite	$8.3 \cdot 10^{10}$	6.3	6.2–9.3	Oxides, sulfides			
Chlorite	$1.6 \cdot 10^9$	9.0		Hematite	$1.0 \cdot 10^2$	25.0	25.0
Kaolinite	$3.2 \cdot 10^7$	11.8		Magnetite	$1.0 \cdot 10^{-4}$		
Carbonates				Pyrite	$1.0 \cdot 10^{-3}$		33.7–81.0
Calcite	$9.0 \cdot 10^{13}$	6.35	7.8–8.5	Galena	$1.0 \cdot 10^{-3}$		17.9
Dolomite	$4.3 \cdot 10^{13}$	7.46	6.8–8.0	Sphalerite	$2.6 \cdot 10^{11}$	7.5	
Aragonite	$3.4 \cdot 10^{12}$	8.67					
Siderite	$8.3 \cdot 10^9$	9.3		Graphite	$1.4 \cdot 10^{-5}$		

Reference key: O, Olhoeft (1981) (converted data from conductivity); K, Keller (1989); Hearst and Nelson (1985).

Gambar 2.6 Nilai resistivitas mineral. Mineral karbonatan seperti kalsit, dolomit, dan aragonite mempunyai rentang nilai resistivitas yang tidak terlalu jauh

Berdasarkan tabel data resistivitas di atas, mineral-mineral khas batuan karbonat seperti Dolomit, Kalsit, dan Aragonit mempunyai nilai resistivitas pada rentang $3,4 \times 10^{13}$ - 9×10^{13} ohm meter.

(Schoen, 2011)

Persamaan (2.5) memberi makna bahwa nilai tahanan dari penghantar adalah:

$$R = \rho \frac{l}{A} \quad (2.6)$$

dengan R adalah resistansi (ohm), ρ adalah resistivitas penghantar (ohmmeter), l adalah panjang penghantar (meter) dan A adalah luas penampang penghantar (m^2) (Jati, 2010). Resistivitas ρ dan konduktivitas σ adalah besaran-besaran yang menjelaskan mengenai baik atau buruknya bahan-bahan atau material-material dalam menghantar listrik. (Suyoso, 2003)

2.4.3 Kecepatan Gelombang Primer

Terdapat dua jenis kecepatan gelombang yang memiliki peran penting pada metode seismik, yakni kecepatan gelombang P (*compressional wave*) dan kecepatan gelombang S (*shear wave*).

Mineral	Vp (m/s)
Kuarsa	5500
Kalsit	6400
Dolomit	7000

Gambar 2.7 Kecepatan primer mineral karbonatan, dimana dolomit mempunyai nilai tertinggi, disusul oleh kalsit dan kemudian kuarsa.

Gambar di atas menunjukkan nilai kecepatan primer untuk mineral-mineral utama batuan karbonat. Dolomit mempunyai nilai kecepatan primer yang paling tinggi dibanding mineral yang lainnya.

(Schoen, 2011)

2.5 Analisis Geokimia

2.5.1 Scanning Electron Microscopy (SEM) - Energy Dispersive X-Ray (EDX)

SEM terdiri dari sebuah senapan elektron yang memproduksi berkas elektron pada tegangan dipercepat sebesar 2 – 30 kV. Berkas elektron tersebut dilewatkan pada beberapa lensa elektromagnetik untuk menghasilkan image

berukuran $< \sim 10\text{nm}$ pada sampel yang ditampilkan dalam bentuk film fotografi atau ke dalam tabung layar. (Trewin, 1988)

Seperti dijelaskan diatas, dari penembakan elektron dari *x-ray*, terdapat beberapa hamburan. Beberapa jenis hamburan, hamburan-hamburan tersebut memiliki fungsi yang berbeda beda, yaitu:

- a. *X-rays*, merupakan energi yang dilepas saat elektron berpindah dari energi tinggi ke energi rendah.
- b. *Primary back scattered electrons*, merupakan elektron yang bertumbuk dengan inti atom. Berfungsi sebagai memberikan perbedaan nomor atom yang menyusun permukaan, atom dengan nomor atom tinggi akan berwarna lebih cerah dari pada atom dengan nomor atom rendah.
- c. *Secondary electrons*, merupakan elektron pantulan. Berfungsi sebagai penghasil topografi dari sampel. Dapat menentukan ketinggian relatif dari sebuah bagian. Dengan bagian cerah memiliki warna lebih terang dari pada bagian rendah yang cenderung gelap.
- d. *Auger electrons*, elektron sinar x yang bereaksi dengan elektron kulit lain. Menghasilkan jenis komposisi dan keadaan di sekitar atom.

Sedangkan untuk EDX (*energy dispersive spectroscopy x-rays*) merupakan sebuah detektor yang akan menghasilkan data berupa unsur-unsur yang dikandung sample.

2.5.2 *X-Ray Diffractometer (XRD)*

X-Ray Diffraction (XRD) merupakan salah satu metoda karakterisasi material yang paling tua dan paling sering digunakan hingga sekarang. Teknik ini digunakan untuk mengidentifikasi fasa kristalin dalam material dengan cara menentukan parameter struktur kisi serta untuk mendapatkan ukuran partikel. Difraksi sinar-X terjadi pada hamburan elastis foton-foton sinar-X oleh atom dalam sebuah kisi periodik. XRD merupakan metode analisa non-destruktif yang didasarkan pada pengukuran radiasi sinar-X yang terdifraksi oleh bidang kristal ketika terjadi interaksi antara suatu materi dengan radiasi elektromagnetik sinar-X. Suatu kristal memiliki kisi kristal tertentu dengan jarak antar bidang kristal spesifik sehingga bidang kristal tersebut akan memantulkan radiasi sinar-X dengan sudut-sudut tertentu. (Suharyana, 2012)

BAB III METODOLOGI

3.1 Lokasi Pengambilan Sampel



Gambar 3.1 Lokasi pengambilan sampel batuan. Lingkaran warna kuning merupakan sekelompok lokasi pengambilan sampel batuan dengan parameter yang sama, sementara garis berwarna merah merupakan sesar yang berada di daerah penelitian.

Lokasi pengambilan sampel batuan tersebar di lima area di Kecamatan Pringkuku, kabupaten Pacitan, Jawa Timur (ditandai dengan area berwarna kuning pada peta). Pemilihan lokasi *sampling* berdasarkan parameter yang ingin dicari, parameternya adalah sebagai berikut: batuan karbonat klastik formasi oyo yang dipengaruhi oleh struktur yang diwakili oleh kode OPS, kemudian batuan karbonat klastik formasi oyo yang tidak dipengaruhi oleh struktur yang di ambil di wilayah tambang (O tambang), selanjutnya batugamping formasi wonosari non struktur (W2 dan W3), dan batugamping terumbu wonosari yang dipengaruhi oleh struktur (W4 sampai W9). Formasi

Oyo didominasi oleh litologi batuan karbonat klastik, sementara Wonosari dominan litologi batuan karbonat non klastik. Area kontak kedua formasi juga diambil sampel, sebagai parameter tambahan untuk mengetahui karakteristik wilayah kontak kedua formasi. Sampel batuan yang diambil sejumlah 5-8 buah untuk setiap parameter utama.

3.2 Alat yang Dibutuhkan

Alat lapangan:

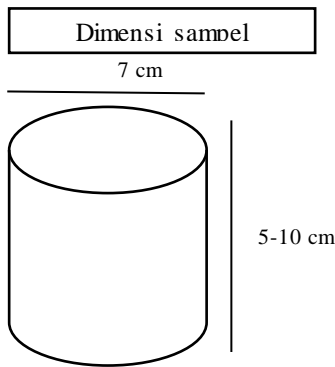
1. Plastik sampel
2. Palu geologi untuk mengambil sampel
3. Loop untuk mengamati sampel secara makroskopis
4. GPS untuk mengetahui lokasi pengambilan sampel
5. Meteran/Penggaris untuk mengukur dimensi sampel
6. Alat tulis

Alat laboratorium:

1. SEM untuk mengetahui struktur mikro batuan
2. EDX untuk mengetahui kandungan unsur batuan
3. XRD untuk mengetahui kandungan mineral batuan
4. Osiloskop untuk uji Vp
5. Alat coring batuan
6. Alat sayat batuan untuk preparasi uji geokimia
7. Densitymeter
8. Resistivitymeter

3.3 Preparasi Sampel

Sampel batuan yang masih berupa balok batuan akan dipreparasi sebelum dilakukan pengujian, untuk pengujian petrofisika, batuan akan dibentuk berupa silinder dengan diameter 7 cm dan tinggi bervariasi antara 5 cm hingga 10 cm. Sementara untuk uji geokimia, batuan akan dibentuk menjadi plat tipis menggunakan alat pemotong batuan. Sampel untuk uji kandungan mineral juga harus dipreparasi yaitu dengan cara menumbuk sampel batuan sehingga menjadi serbuk batu yang siap uji. Secara keseluruhan, sebelum dilakukan pengujian, batuan akan dikeringkan terlebih dahulu menggunakan oven untuk menghilangkan kandungan air dalam pori batuan.

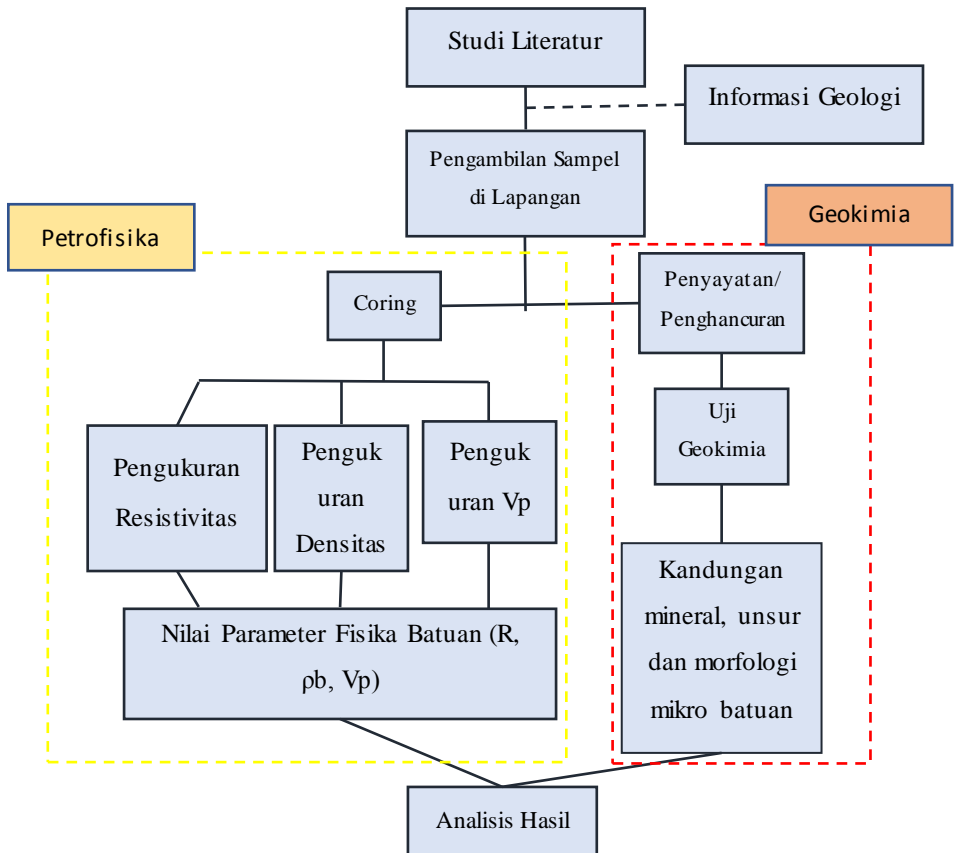


Gambar 3.2 Preparasi sampel batuan

3.4 Alur Interpretasi Data

Analisis parameter fisis mempergunakan sampel kering. Nilai parameter fisis terukur (resistivitas, densitas bulk, dan kecepatan gelombang primer) akan dihubungkan dengan parameter porositas untuk setiap parameter batuan. Analisis geokimia dan mineralogi akan mendapatkan nilai persentase jumlah unsur yang terkandung dalam batuan, persentase jumlah mineral, ukuran butir, dan struktur mikro batuan. Nilai tersebut akan dikorelasikan dengan nilai parameter fisis batuan, apakah keterdapatan mineral tertentu dapat mempengaruhi nilai parameter fisis batuan. Data ukuran butir, kemas, dan keterdapatan biota yang terendapkan dalam batuan akan memberikan informasi mengenai lingkungan pengendapan dan sejarah pengendapannya.

3.5 Diagram Alir Penelitian



Gambar 3.3 Diagram alir keseluruhan penelitian, secara umum dibagi menjadi dua alur, yaitu pengukuran parameter fisis dan uji geokimia batuan karbonat.

3.6 Rencana Kegiatan Penelitian

Berikut adalah jadwal rencana kegiatan penelitian untuk tugas akhir ini.

Tabel 3.1 Jadwal Kegiatan Penelitian Tugas Akhir

No	Kegiatan	Rincian Kegiatan	Januari				Februari				Maret				April				Mei				Output
			1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	
1	Studi Awal	Studi Literatur																					Memahami petrofisika dan geokimia
		Studi Geologi																					Desain sampling batuan sementara
2	Survey	Survey Lapangan																					Desain sampling batuan
3	Pengambilan Sampel	Pengambilan Sampel																					Sampel batuan
4	Pengolahan	Preparasi Sampel																					Coring dan thin slicing
		Pengujian Sampel																					Data mentah petrofisika dan geokimia sampel
5	Interpretasi	Analisa Data																					Analisis petrofisika dan geokimia
		Korelasi Data																					Karakteristik lengkap batuan
6	Penulisan Laporan																						Laporan Tugas Akhir

Keterangan : M1 = Minggu ke 1; M2 = Minggu ke 2; M3 = Minggu ke 3; M4 = Minggu ke 4

Penelitian ini dirancakan dilakukan selama 5 bulan dengan rentang waktu (Januari – Mei)

HALAMAN INI SENGAJA DIKOSONGKAN

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Sampel Batuan

Berikut adalah sampel batuan yang diambil untuk menunjang penelitian tugas akhir ini, jumlah sampel berjumlah 24 balok batuan, yang kemudian dipreparasi menjadi 32 sampel batuan berbentuk silinder. Setiap parameter yang diukur diwakili oleh 8 sampel batuan.

Tabel 4.1 Sampel batuan karbonat pringku Pacitan

No	Kode Sampel	Dimensi (mm)		Parameter
		Diameter	Tinggi	
1	O1	67,44	48,56	Oyo Klastik Struktur
2	O1	68,74	66,54	Oyo Klastik Struktur
3	OPS	47,48	46,27	Oyo Klastik Struktur
4	OPS	67,41	40,38	Oyo Klastik Struktur
5	OPS	68,04	53,65	Oyo Klastik Struktur
6	OPS1	63,23	53,51	Oyo Klastik Struktur
7	OPS1	67,49	49,2	Oyo Klastik Struktur
8	OPS2	67,52	46,14	Oyo Klastik Struktur
9	OTB	67,67	77,67	Oyo Klastik Non Struktur
10	OTB	67,72	62,42	Oyo Klastik Non Struktur
11	OTB	67,66	73,14	Oyo Klastik Non Struktur
12	OTB	66,41	60,99	Oyo Klastik Non Struktur
13	OTB	57,27	52,82	Oyo Klastik Non Struktur
14	OTB	67,41	50,7	Oyo Klastik Non Struktur
15	OTB	67,38	53,33	Oyo Klastik Non Struktur
16	OTB	67,6	40,21	Oyo Klastik Non Struktur
17	OTB	67,35	52,17	Oyo Klastik Non Struktur
18	W3	67,31	62,13	Batugamping Terumbu Wonosari Non Struktur

No	Kode Sampel	Dimensi (mm)		Parameter
		Diameter	Tinggi	
19	W3	67,82	65,17	Batugamping Terumbu Wonosari Non Struktur
20	W3	61,56	103,25	Batugamping Terumbu Wonosari Non Struktur
21	W3	67,69	59,57	Batugamping Terumbu Wonosari Non Struktur
22	W3	68,1	57,22	Batugamping Terumbu Wonosari Non Struktur
23	W3	67,65	71,53	Batugamping Terumbu Wonosari Non Struktur
24	W3	67,71	43,47	Batugamping Terumbu Wonosari Non Struktur
25	W4	67,6	55,72	Batugamping Terumbu Wonosari Struktur
26	W4	66,96	44,24	Batugamping Terumbu Wonosari Struktur
27	W5	66,98	68,13	Batugamping Terumbu Wonosari Struktur
28	W5	67,04	55,69	Batugamping Terumbu Wonosari Struktur
29	W6	66,79	57,48	Batugamping Terumbu Wonosari Struktur
30	W6	67,3	47,06	Batugamping Terumbu Wonosari Struktur
31	W9	68,26	67,15	Batugamping Terumbu Wonosari Struktur
32	W9	67,03	45,13	Batugamping Terumbu Wonosari Struktur

4.2 Petrologi Batuan Karbonat

Berikut adalah deskripsi singkapan dan deskripsi batuan karbonat untuk masing-masing parameter batuan.

4.2.1 Oyo Klastik Non Struktur

Stasiun	: O	Cuaca	: :Cerah
Hari/tgl	: Jumat, 23 Maret 2018	Strike/dip	: -
Lokasi	: Ds. Ngadirejan	Waktu	: 17.15

Koordinat : $111^{\circ}2'50,886''\text{E}$ $8^{\circ}11'24,403''\text{S}$

Sketsa lokasi:

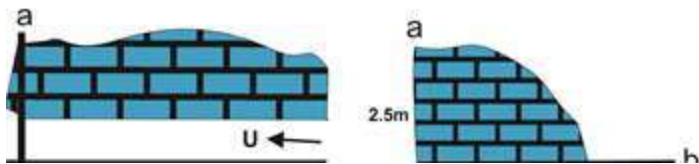


Foto :



Deskripsi:

Batugamping Klastik, warna lapuk coklat muda, warna segar putih keabuan, kenampakan klastik, dominasi skeletal, tekstur allochthonous (Embry & Klovan) organisme algae coral, permeabilitas sedang, porositas sedang, kekerasan keras.

Tidak ditemukan indikasi pengaruh struktur.

4.2.2 Oyo Klastik Struktur

Stasiun : OPS

Cuaca :Cerah

Hari/tgl : Jumat, 23 Maret 2018

Strike/dip : -

Lokasi : K. Barong

Waktu :16.45

Koordinat : 111°2'9,087" E 8°12'38,215"S

Sketsa lokasi:

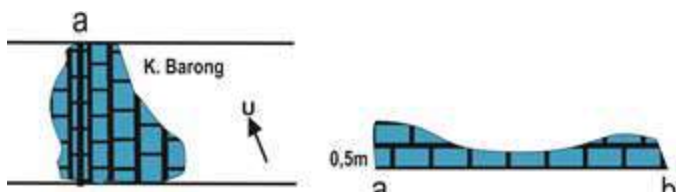


Foto :



Deskripsi:

Batugamping Klastik, warna lapuk coklat muda, warna segar putih keabuan, kenampakan klastik, dominasi skeletal, tekstur allochthonous (Embry & Klovan) organisme algae coral , permeabilitas sedang, porositas sedang, kekerasan keras. Ditemukan urat-urat kalsit pengisi kekar

Stasiun : OPS 2

Cuaca :Cerah

Hari/tgl : Jumat, 23 Maret 2018

Strike/dip : -

Lokasi : Ds. Ngadirejan

Waktu : 09.00

Koordinat : 111°3'3,338" E 8°10'39,184"S

Sketsa lokasi:

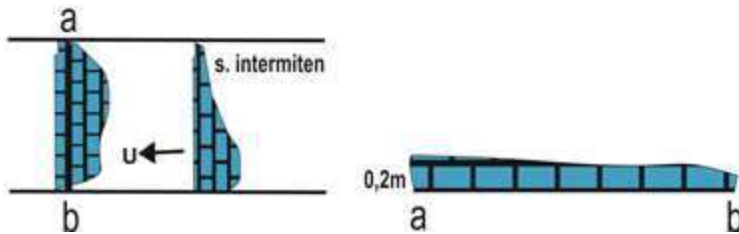


Foto :



Deskripsi:

Batugamping Klastik, warna lapuk coklat, warna segar putih tulang, kenampakan klastik, dominasi non skeletal, tekstur allochthonous (Embry & Klovan), organisme foraminifera bentonik besar, permeabilitas sedang, porositas sedang, kekerasan keras.

4.2.3 Batugamping Terumbu Wonosari Non Struktur

Stasiun	: W3	Cuaca	:Cerah
Hari/tgl	: Selasa, 20 Maret 2018	Strike/dip	: -
Lokasi	: Ds. Watukarung	Waktu	:15.00
Koordinat : 08°13'48,4" LS 110°58'19,2" BT			

Sketsa lokasi:

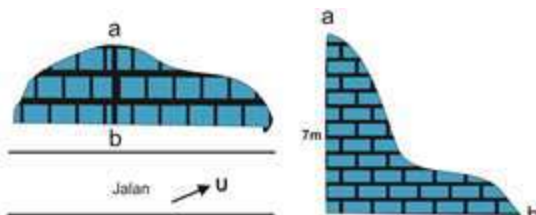


Foto :



Deskripsi:

Batugamping terumbu, warna lapuk coklat, warna segar putih tulang, kenampakan terumbu, dominasi non skeletal, tekstur autchthonous (Embry & Klován) organisme foraminifera bentonik besar, permeabilitas sedang, porositas sedang, kekerasan masif.

4.2.4 Batugamping Terumbu Wonosari Struktur

Stasiun	: W4	Cuaca	:Cerah
Hari/tgl	: Kamis, 22 Maret 2018	Strike/dip	: -
Lokasi	: K. Kladen/ Ngrijang, Ds. Sugihwaras	Waktu	: 08.00
Koordinat : 111°0'23,676" E 8°10'22,896"S			

Sketsa lokasi:

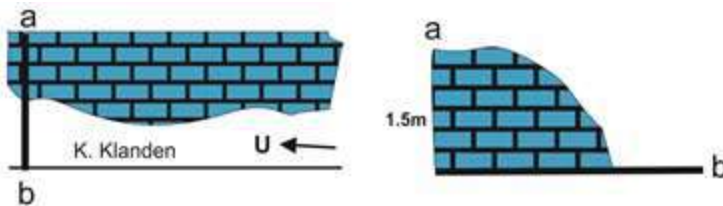


Foto :



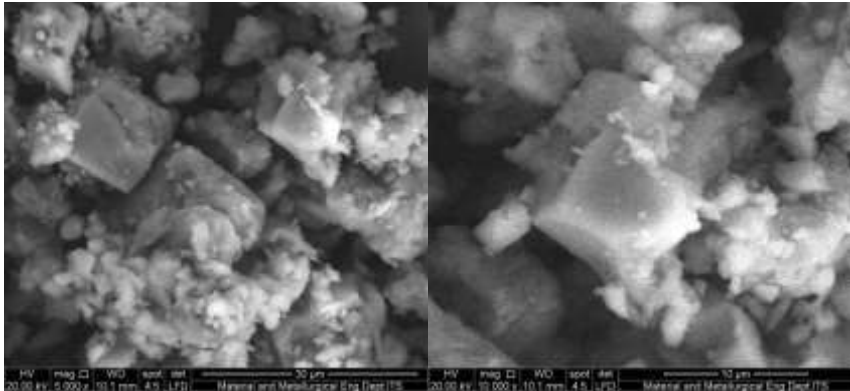
Deskripsi:

Batugamping Klastik, warna lapuk coklat, warna segar putih tulang, kenampakan terumbu, dominasi non skeletal, tekstur allochthonous (Embry & Klovan) organisme foraminifera bentonik besar, permeabilitas baik, porositas baik, kekerasan keras.

4.3 Analisis Geokimia Batuan Karbonat Pringkuku Pacitan

4.3.1 Scanning Electron Microscopy (SEM)- Energy Dispersive X-Ray (EDX)

Berikut adalah hasil pengamatan sampel batuan karbonat klastik formasi oyo non struktur melalui SEM-EDX ,

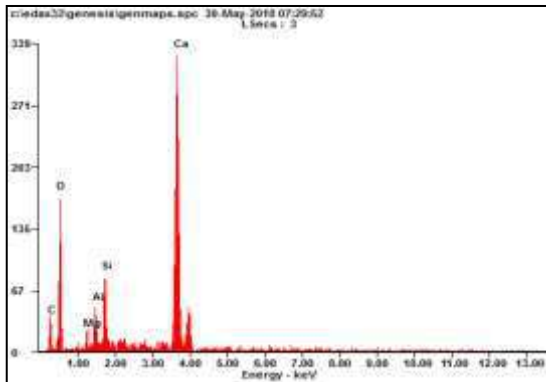


(a).

(b).

Gambar 4.1 (a) citra SEM perbesaran 5000 kali untuk batuan karbonat klastik formasi oyo yang tidak dipengaruhi struktur. (b) citra SEM perbesaran 10000 kali untuk batuan karbonat klastik formasi oyo yang tidak dipengaruhi struktur.

Terlihat dari hasil pengamatan sampel menggunakan SEM, terdapat bentukan kristal rhombohedral (berwarna abu-abu terang). Bentuk kristal yang masih utuh menandakan sedikit atau tidak adanya faktor luar yang mendeformasi bentuk kristal. Dua jenis mineral yang umum ditemukan pada batuan karbonat dan berbentuk rhombohedral adalah mineral kalsit dan dolomit, untuk memastikan mineral apakah yang tergambar dalam citra SEM ini, akan dibuktikan melalui kombinasi uji EDX dan XRD.



Gambar 4.2 Grafik komposisi unsur yang terekam oleh *Energy Dispersive X-Ray* untuk sampel OTB

Tabel 4.2 Komposisi unsur yang terkandung dalam sampel OTB

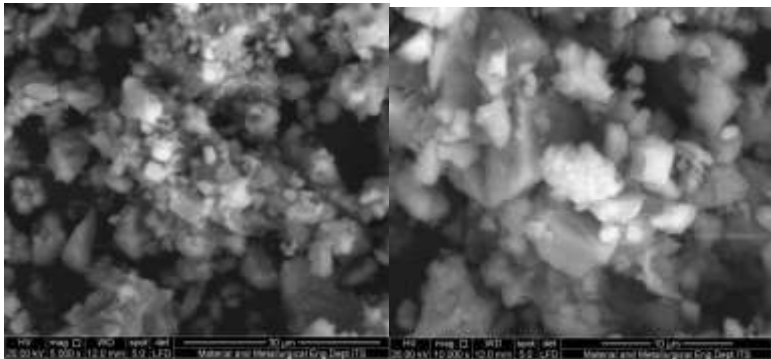
Elemen	Wt%
<i>CK</i>	04,64
<i>OK</i>	45,15
<i>MgK</i>	01,94
<i>AlK</i>	03,53
<i>SiK</i>	06,68
<i>CaK</i>	38,05

Berdasarkan hasil EDX, unsur dengan persentase terbanyak adalah Ca dan O, disusul dengan Si dan C. Dikorelasikan dengan hasil citra SEM, diperoleh kesimpulan bahwa penyusun utama batuan karbonat formasi Oyo yang tidak dipengaruhi oleh struktur adalah mineral kalsit dan sedikit silika. Selain itu, terdapat pula unsur Mg dengan jumlah yang sedikit (kurang dari 2%). Konsentrasi Mg yang terlalu sedikit tidak cukup untuk menggantikan Ca dalam ikatan CaCO_3 mineral kalsit, sehingga belum mendukung terjadinya dolomitisasi. Sebagai gantinya, yang terbentuk adalah mineral kalsit rendah magnesium.

Tabel 4.3 Persentase unsur penyusun batuan OPS

<i>Elemen</i>	<i>Wt%</i>
<i>CK</i>	08.13
<i>OK</i>	44.69
<i>MgK</i>	01.25
<i>AlK</i>	01.61
<i>SiK</i>	02.85
<i>CaK</i>	41.47

Hasil EDX menunjukkan bahwa batuan karbonat klastik formasi Oyo yang dipengaruhi oleh struktur mempunyai variasi unsur penyusun yang sama dengan batuan karbonat klastik formasi Oyo yang tidak dipengaruhi oleh struktur. Unsur-unsur dominan penyusun mineral kalsit mempunyai keterdapatan yang lebih tinggi dibandingkan dengan unsur-unsur lainnya. Ditemukan pula unsur silika, magnesium, dan aluminium dengan konsentrasi yang lebih sedikit. Sedikitnya konsentrasi Magnesium (<2%) mengindikasikan bahwa mineral rhombohedral yang terbaca pada SEM merupakan mineral kalsit, dan belum terjadi proses dolomitasi.



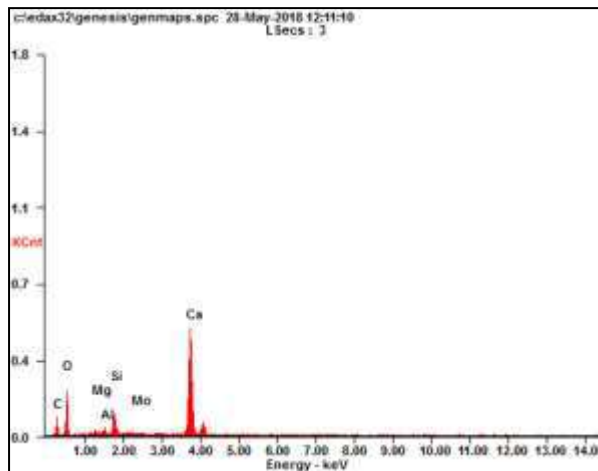
(a).

(b).

Gambar 4.5 (a) citra SEM perbesaran 5000x untuk batugamping terumbu formasi wonosari yang tidak dipengaruhi struktur. (b) citra SEM perbesaran 10000x untuk batugamping terumbu formasi wonosari non struktur.

Berdasarkan dari citra SEM yang ditampilkan, terlihat mineral-mineral berbentuk kubus rhombohedral yang tidak sempurna, mineral ini diduga

merupakan mineral kalsit, atau mineral dolomit dalam masa awal pembentukannya. Mineral-mineral ini berukuran sekitar 8-10 mikrometer.



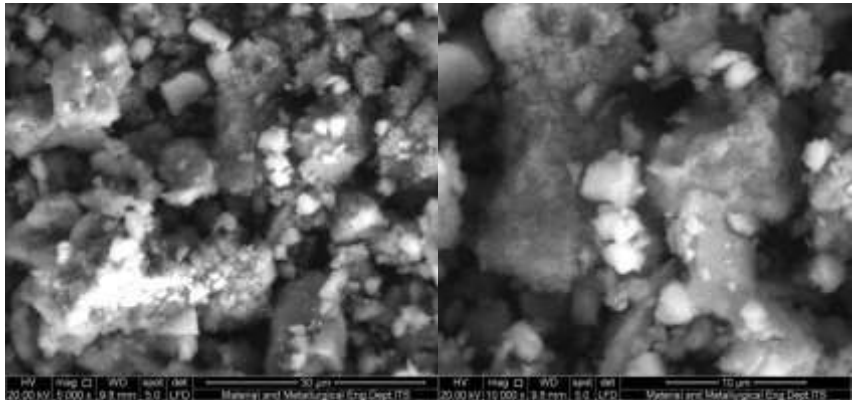
Gambar 4.6 Grafik komposisi unsur penyusun batuan karbonat terumbu formasi wonosari non struktur

Tabel 4.4 Persentase unsur penyusun batuan karbonat terumbu wonosari non struktur

Elemen	Wt%
<i>CK</i>	06,22
<i>OK</i>	44,74
<i>MgK</i>	01,75
<i>AlK</i>	01,51
<i>SiK</i>	05,21
<i>MoL</i>	00,89
<i>CaK</i>	39,68

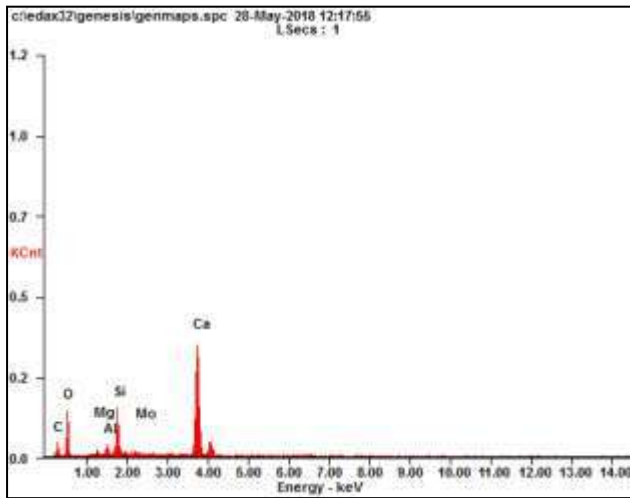
Hasil uji EDX menunjukkan unsur-unsur yang terdapat dalam batuan karbonat terumbu formasi wonosari yang tidak dipengaruhi struktur, diantaranya adalah unsur Ca, C, O, dengan unsur tambahan berupa Mg, Al, Si, dan Mo. Korelasi dengan citra SEM menunjukkan bahwa unsur Ca, C, dan O adalah unsur pembentuk mineral kalsit. Sementara unsur Mg berperan dalam menentukan apakah kalsit ini termasuk kalsit magnesium rendah, kalsit

magnesium tinggi, atau merupakan kalsit yang telah rekristalisasi menjadi dolomit.



Gambar 4.7 (a) citra SEM perbesaran 5000x untuk batugamping terumbu formasi wonosari yang dipengaruhi struktur. (b) citra SEM perbesaran 10000x untuk batugamping terumbu formasi wonosari yang dipengaruhi struktur.

Berdasarkan citra SEM, tampak bahwa pada perbesaran maksimal (10000 kali) pun tidak terlihat bentuk mineral kalsit yang jelas seperti pada citra SEM pada sampel yang lainnya. Bentuk yang terlihat merupakan mineral-mineral kalsit yang terikat bersama mineral-mineral pengotor lainnya. Selain itu, pengaruh struktur juga mempengaruhi bentuk mineral kalsit, yang umumnya berbentuk seperti kubus, kemudian berubah menjadi lebih membola. Ukuran dari mineral kalsit sulit diukur karena tidak ditemukan citra mineral kalsit dengan ukuran yang utuh.



Gambar 4.8 Grafik komposisi unsur penyusun batuan karbonat terumbu formasi Wonosari yang dipengaruhi struktur

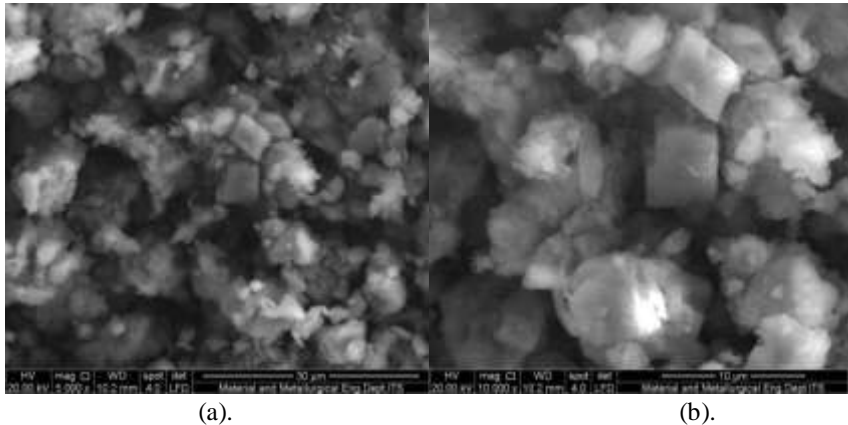
Tabel 4.5 Persentase unsur penyusun batuan karbonat wonosari yang dipengaruhi oleh struktur

Elemen	Wt%
<i>CK</i>	06,26
<i>OK</i>	41,32
<i>MgK</i>	01,21
<i>AlK</i>	03,00
<i>SiK</i>	08,62
<i>MoL</i>	00,96
<i>CaK</i>	38,63

Menurut hasil uji EDX, unsur-unsur yang terdapat pada sampel ini secara umum masih sama dengan sampel formasi wonosari sebelumnya, yang membedakan adalah jumlah persentase unsur-unsurnya. Unsur silika pada sampel ini jumlahnya cukup signifikan, diduga merupakan bagian dari mineral kuarsa yang ikut terendapkan dalam batuan karbonat ini.

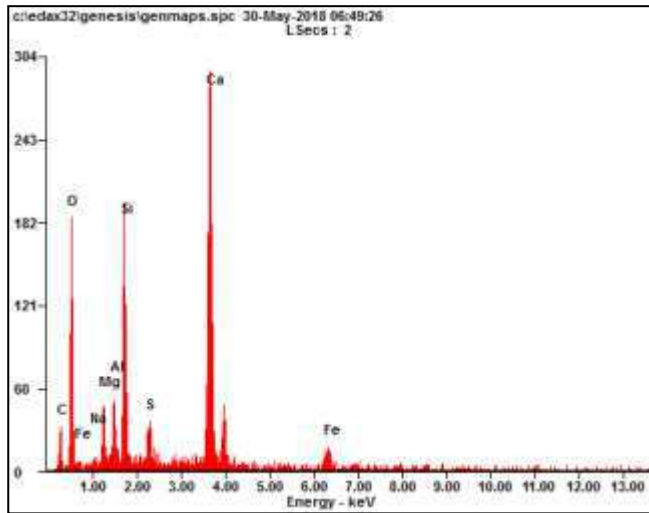
Sampel dengan kode W9 yang merupakan formasi Wonosari yang dipengaruhi oleh struktur juga diuji dengan SEM-EDX. Sampel ini dipilih karena berdasarkan analisis petrologi, terdapat bijih logam berwarna hitam mengkilap pada tubuh singkapan batuan. Selain itu, lokasi dari W9 ini berada di jalur kontak antara formasi batuan karbonat Wonosari dan formasi batuan

karbonat Oyo, sehingga menarik untuk dilihat petrologinya dalam skala laboratorium.



Gambar 4.9 (a) citra SEM perbesaran 5000x untuk batugamping terumbu formasi wonosari yang dipengaruhi struktur. (b) citra SEM perbesaran 10000x untuk batugamping terumbu formasi wonosari yang dipengaruhi struktur

Berdasarkan citra SEM yang dihasilkan, terlihat kembali bentukan mineral yang berbentuk seperti kubus, padahal pada sampel sebelumnya, mineral kalsit sudah terdeformasi sehingga tidak lagi berbentuk rhombohedral. Hal ini menandakan bahwa telah terjadi rekristalisasi pada sampel ini, diduga mineral rhombohedral ini merupakan tahapan awal dari dolomitisasi. Hasil dari EDX akan mengkonfirmasi lebih lanjut apakah terdapat jumlah Mg yang memadai untuk terjadinya proses dolomitisasi.



Gambar 4.10 Grafik komposisi unsur batuan W9

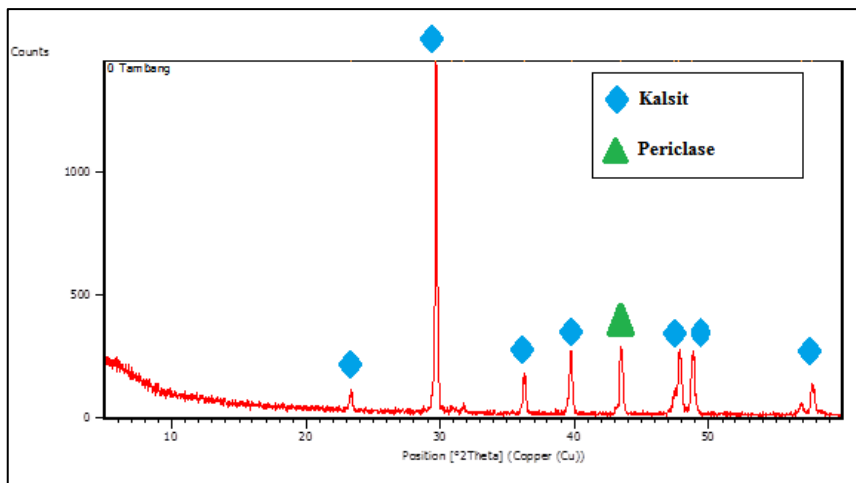
Tabel 4.6 Persentase unsur penyusun sampel batuan W9

Elemen	Wt%
<i>CK</i>	04.06
<i>OK</i>	42.05
<i>NaK</i>	00.45
<i>MgK</i>	03.48
<i>AlK</i>	03.54
<i>SiK</i>	11.29
<i>SK</i>	02.36
<i>CaK</i>	28.65
<i>FeK</i>	04.13

Berdasarkan uji EDX untuk mengetahui unsur-unsur penyusun sampel batuan, terlihat bahwa terdapat lebih banyak variasi unsur yang muncul dibanding pada sampel-sampel sebelumnya. Selain unsur penyusun utama batuan karbonat seperti Ca, C, dan O, terdapat pula unsur Mg yang berperan dalam proses dolomitisasi. Jumlah dari unsur Mg ini cukup memadai untuk terjadinya proses dolomitisasi. Adapula unsur-unsur pengotor yang jumlahnya cukup signifikan, yaitu unsur Fe, Si, Al, dan S. Sampel ini memiliki jumlah unsur silika terbanyak dibandingkan dengan sampel lainnya. Selain itu, terdapat pula mineral Fe yang juga umum berasosiasi dengan batuan karbonat. Unsur besi ini yang diperkirakan sebagai logam pengotor yang ada pada sampel W9.

4.3.2 X-Ray Diffractometer

Berikut adalah hasil dari uji XRD untuk mengidentifikasi mineral yang terdapat pada sampel batuan berdasarkan karakteristik sudut fasanya ketika mineral dikenai sinar X-Ray.



Gambar 4.11 Hasil XRD untuk kode sampel OTB (Formasi Oyo non struktur)

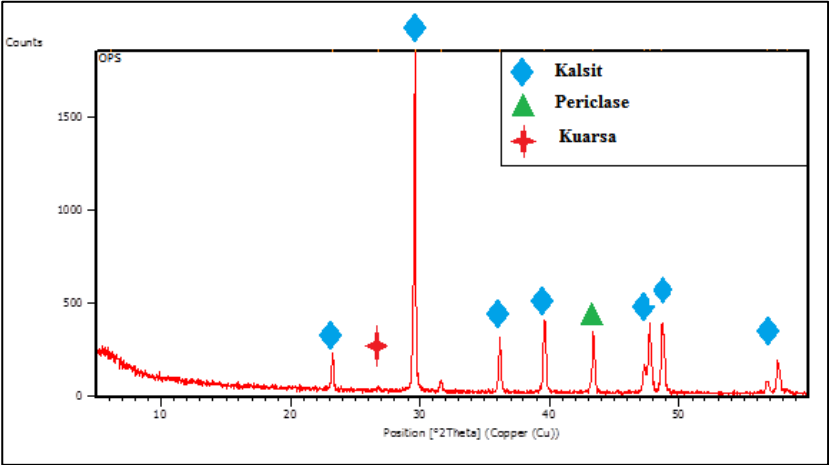
Tabel 4.7 Persentase mineral penyusun hasil matching XRD

Mineral	Presentase
Kalsit	95,5%
Periclase (MgO)	4,5%

Berdasarkan hasil *matching* dengan database sudut fasa mineral, diperoleh dua mineral yang cocok dengan kurva hasil XRD, yaitu mineral kalsit dan periclase. Kalsit mendominasi komposisi mineral batuan karena merupakan *polymorph* CaCO_3 yang paling stabil. Sementara dua mineral *polymorph* kalsium karbonat yang lain, vaterit dan aragonit lebih jarang ditemukan, karena keduanya lebih sering berubah menjadi mineral kalsit. Kalsit dan aragonit merupakan penyusun utama dari cangkang foraminifera bentonik yang ditemukan pada analisa petrologi. Aragonit merupakan mineral metastabil dalam kondisi tekanan dan suhu ruang, sehingga cenderung berubah menjadi mineral kalsium karbonat yang lebih stabil, yaitu kalsit (Hsu, 2004). Korelasi dengan hasil EDX(*Energy Dispersive X-Ray*) menunjukkan bahwa kalsit yang

berada dalam batuan ini mengandung sedikit kadar magnesium, sehingga bisa disebut sebagai kalsit rendah magnesium.

Terdapat mineral Periclase dalam persentase sekitar 4,5%. Periclase merupakan mineral khas batuan kontak metamorfisme yang berasosiasi dengan magnesit atau dolomit. (Duda, R., dan Rejl, L., 1990). Keberadaan mineral periclase ini menunjukkan adanya pengaruh aktivitas magmatisme di daerah ini. Sumber dari mineral periclase yang mungkin, dilihat dari lingkungan geologi pengambilan sampel adalah dari kontak intrusi magma dari formasi vulkanik di utara daerah penelitian atau dari aliran hidrotermal bersuhu tinggi yang terindikasi berada di timur laut kecamatan Pringkuku.



Gambar 4.12 Hasil XRD untuk kode sampel OPS (Formasi Oyo Struktur)

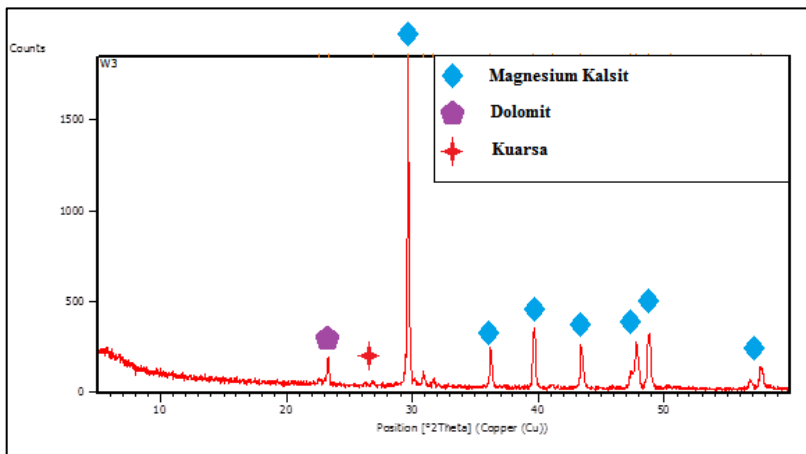
Tabel 4.8 Persentase mineral penyusun batuan OPS

Mineral	Presentase
Kalsit	86,5%
Periclase (MgO)	9,9%
Kuarsa	3,7%

Berbeda dengan formasi Oyo yang jauh dari struktur, mineral penyusun batuan Oyo yang dipengaruhi oleh struktur lebih kompleks. Tersusun atas tiga mineral utama, yaitu kalsit, periclase, dan kuarsa. Mineral kalsit sebagai penyusun utama paling stabil dari batugamping masih mendominasi susunan mineraloginya.

Keberadaan mineral kuarsa (SiO_2) dan Periclase merupakan indikasi adanya aktivitas magmatisme yang mempengaruhi genesis batuan di lokasi ini. Silika merupakan unsur penyusun lempeng benua, dan merupakan produk dari vulkanisme. Sementara MgO merupakan mineral ubahan hasil dari kontak metamorfisme (Duda, R., dan Rejl, L., 1990). Kontak metamorfisme sendiri adalah proses pembentukan batuan metamorfis oleh kontak dari suhu yang tinggi.

Terdapat formasi batuan vulkanik di utara formasi Oyo, berdasarkan peta geologi lembar Pacitan (Samodra, H. & Gafoer, S., n.d.). Diduga terjadi intrusi magmatis dan atau aliran hidrotermal yang membawa unsur silika ke dalam endapan karbonat di wilayah penelitian bagian utara. Dilihat dari konsentrasi Periclase dan Kuarsa yang lebih besar dibanding pada batuan karbonat formasi Oyo Non Struktur, mengindikasikan bahwa aktivitas magmatis lebih terkonsentrasi di wilayah ini. Unsur SiMa yang hadir dalam bentuk SiO_2 dan MgO merupakan penyusun lempeng samudera, ini menunjukkan asal dari aktivitas magmatis yang mempengaruhi mineralogi batuan ini, yaitu berasal dari magma basaltik lempeng samudera yang menunjam di selatan pulau Jawa. Akibat dari penunjaman lempeng samudera inilah yang mengakibatkan terjadinya pengangkatan lempeng wonosari dan terbentuknya zona pegunungan selatan di Jawa bagian selatan.



Gambar 4.13 Hasil XRD untuk kode sampel batuan W3 (Wonosari Non Struktur)

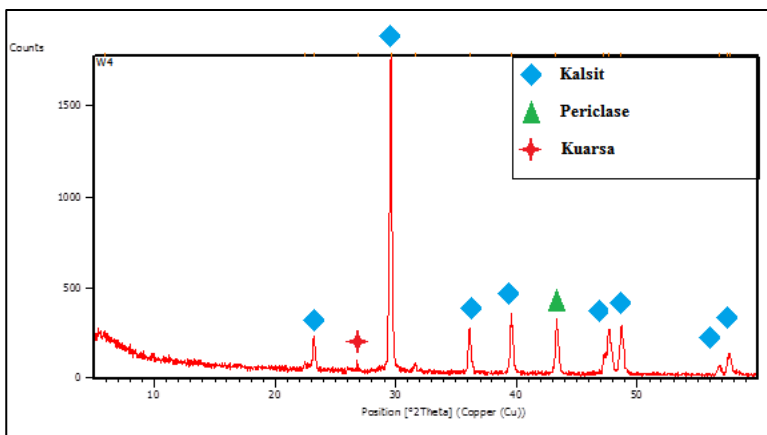
Tabel 4.9 Komposisi mineral batuan W3

Mineral	Presentase
Magnesium Kalsit	94,4%
Dolomit	5,1%
Kuarsa	0,5%

Formasi wonosari yang di dominasi oleh batuan gamping terumbu, dan mendominasi wilayah Pringkuku bagian timur dan selatan. Ditemukan dua mineral utama yaitu, Magnesium kalsit yang berjumlah 94.4%, dan Dolomit sebanyak 5.1%. Mineral kuarsa ditemukan dalam jumlah yang sedikit, yaitu dibawah 1% dan dianggap sebagai mineral pengotor. Keterdapatan Magnesium kalsit dan Dolomit mengindikasikan bahwa sedang terjadi proses dolomitisasi di wilayah ini, tetapi masih dalam tahap awal, sehingga jumlah konsentrasi dolomit secara keseluruhan masih terbilang sedikit. Pengaruh dari dolomitisasi pada parameter fisis batuan akan dibahas pada pembahasan selanjutnya.

Jumlah unsur magnesium yang tinggi pada batuan ini bisa disebabkan oleh beberapa hal berikut, pertama, stasiun W3 merupakan stasiun yang letaknya paling dekat dengan lautan. Air laut mempunyai kandungan Mg yang jauh lebih tinggi dibandingkan pada *freshwater* (Hem, 1992), sehingga sesuai apabila batuan karbonat yang lebih banyak mendapat kontak dengan air laut akan mempunyai kandungan Mg yang lebih tinggi.

Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Badiozamani, disebutkan bahwa dolomitisasi akan terbentuk di daerah dimana terjadi pencampuran antara air laut dengan air meteorit (Badiozamani, 1973). Stasiun W3 mempunyai *setting* yang ideal untuk terjadinya proses dolomitisasi.



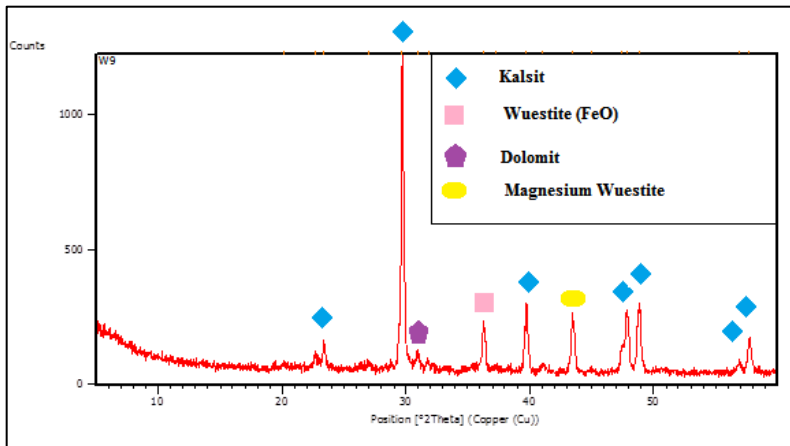
Gambar 4.14 Hasil XRD untuk kode sampel batuan W4 (Wonosari Struktur)

Tabel 4.10 Komposisi mineral batuan W4

Mineral	Presentase
Kalsit	97,8%
Periclase (MgO)	1,1%
Kuarsa	1,1%

Formasi wonosari yang terpengaruh oleh struktur berada di timur laut formasi wonosari yang tidak dipengaruhi oleh struktur. Hasil *matching* menunjukkan keberadaan tiga mineral utama, yaitu Kalsit, Periclase, dan Kuarsa. Kalsit masih mendominasi sebanyak 97.8% pada sampel batuan ini. Terdapat pula magnesium yang berperan dalam dolomitisasi batuan karbonat, tetapi dalam sampel ini belum ada indikasi terjadinya proses tersebut. Mineral Kuarsa tampak bertambah dibandingkan pada batuan wonosari sebelumnya.

Dolomitisasi tidak terjadi karena faktor pendukung proses dolomitisasi yang kurang lengkap. Faktor yang dimaksud adalah tidak adanya percampuran antara air laut dan air meteorik yang menginduksi proses dolomitisasi. Stasiun W4 berada lebih dekat ke formasi batuan vulkanik di utara dibandingkan dengan jaraknya terhadap laut, sehingga mineral-mineral yang ditemukan pun lebih dipengaruhi oleh aktivitas vulkanik, meskipun tidak sebesar pengaruh magmatisme di batuan Oyo di sebelah timur.



Gambar 4.15 Hasil XRD untuk kode sampel batuan W9

Tabel 4.11 Komposisi mineral batuan W9

Mineral	Presentase
Kalsit	91,5%
Dolomit	5,6%
Magnesiowuestite	2,2%
FeO	0,7%

Batuan dengan kode sampel batuan W9 dipilih karena batuan ini diambil di daerah pertemuan formasi Wonosari dan formasi Oyo, tetapi masih termasuk formasi Wonosari. Batuan pada daerah diambilnya sampel ini terdapat indikasi keterdapatn logam pengotor berupa bijih logam berwarna hitam mengkilat, oleh karena itu, uji *X-Ray Diffractometer* (XRD) dilakukan untuk mengidentifikasi mineral apa saja yang menyusun batuan ini.

Terdapat 4 mineral, yaitu Kalsit, Dolomit, Magnesiowuestite, dan FeO. Keberadaan Dolomit dan Magnesiowuestite (yang merupakan logam percampuran unsur magnesium, besi, dan oksigen) mengindikasikan terdapatnya konsentrasi Mg yang cukup tinggi dibandingkan dengan wilayah lainnya.

Kalsit merupakan *polymorph* kalsium karbonat yang paling stabil dalam kondisi tekanan dan suhu ruang, sehingga jumlahnya paling banyak ditemukan di batuan karbonat, khususnya untuk batuan karbonat yang sudah cukup matang. Batuan karbonat yang masih muda, umumnya masih mempunyai sisa-sisa aragonit yang masih belum berubah menjadi kalsit atau dolomit.

Dolomit yang idealnya terbentuk di wilayah dekat lautan ternyata ditemukan di stasiun W9 yang relatif jauh dari laut. Diasumsikan oleh penulis, dolomit yang terbentuk merupakan dolomit hidrotermal. Suhu tinggi (sekitar $>50^{\circ}\text{C}$) yang dihasilkan oleh proses hidrotermal merupakan kondisi yang kondusif dalam proses dolomitisasi (Machel, Hans-G., Mountjoy, dan Eric W, 1986). Dolomit hidrotermal terbentuk dalam kedalaman dan kondisi magmatik yang intens. Batugamping yang mulanya tersaturasi oleh air laut kemudian teruapkan menyisakan endapan magnesium karbonat, fluida hidrotermal kemudian masuk melalui celah-celah yang terbentuk oleh struktur dan bereaksi membentuk dolomit.

Keberadaan FeO dan magnesiowustite yang hanya ditemukan di stasiun W9 menandakan bahwa mineral tersebut merupakan mineral tambahan yang belum diketahui asal pembentukannya. Diduga unsur Fe terbawa oleh arus sungai Klendeng dari batuan asalnya, kemudian ikut terendapkan di stasiun W9.

4.4 Parameter Fisika Batuan Karbonat

4.4.1 Kecepatan Primer

Prinsip pengukuran kecepatan primer pada sampel batuan adalah mengukur waktu tempuh yang dibutuhkan oleh gelombang ultrasonik dari ujung sampel batuan ke ujung yang lain. Gelombang ultrasonik ini dipancarkan oleh *transmitter* dan diterima oleh *receiver* pada perangkat *transducer*. Sebelum dilakukan pengukuran, sampel batuan melalui proses pengeringan terlebih dahulu untuk menguapkan air yang terperangkap pada pori sampel batuan. Berikut adalah hasil pengukuran kecepatan primer pada sampel batuan karbonat,

Tabel 4.12 Hasil pengukuran kecepatan primer

No	Kode Sampel	Dimensi (mm)		Vp (m/s)
		Diameter	Tinggi	
1	O1	67,44	48,56	3050
2	O1	68,74	66,54	3530
3	OPS	47,48	46,27	3440
4	OPS	67,41	40,38	3000
5	OPS	68,04	53,65	3160
6	OPS1	63,23	53,51	3320
7	OPS1	67,49	49,2	3450
8	OPS2	67,52	46,14	2760
9	OTB	67,67	77,67	3370
10	OTB	67,72	62,42	3440
11	OTB	67,66	73,14	2910
12	OTB	66,41	60,99	3010
13	OTB	57,27	52,82	2980
14	OTB	67,41	50,7	3060
15	OTB	67,38	53,33	2550
16	OTB	67,6	40,21	3630
17	OTB	67,35	52,17	2910
18	W3	67,31	62,13	2720

No	Kode Sampel	Dimensi (mm)		Vp (m/s)
		Diameter	Tinggi	
19	W3	67,82	65,17	2710
20	W3	61,56	103,25	3230
21	W3	67,69	59,57	2700
22	W3	68,1	57,22	2890
23	W3	67,65	71,53	3120
24	W3	67,71	43,47	3210
25	W4	67,6	55,72	3120
26	W4	66,96	44,24	3510
27	W5	66,98	68,13	3360
28	W5	67,04	55,69	3150
29	W6	66,79	57,48	2910
30	W6	67,3	47,06	2890
31	W9	68,26	67,15	2990
32	W9	67,03	45,13	2820

Gelombang primer merambat sesuai dengan sifat-sifat gelombang, salah satunya adalah prinsip Fermat yang menyatakan bahwa gelombang yang merambat melalui sebuah medium akan selalu mencari jalur tercepat. Hasil pengukuran nilai kecepatan primer menunjukkan adanya variasi nilai kecepatan primer untuk setiap parameter. Berikut adalah rata-rata nilai kecepatan primer untuk tiap parameter batuan.

Tabel 4.13 Rata-rata nilai vp tiap parameter batuan

Parameter	Vp (m/s)
Oyo Struktur	3272
Oyo Non Struktur	2980
Wonosari Struktur	3034
Wonosari Non Struktur	2880

Membandingkan hasil pengukuran dengan nilai kecepatan primer batuan pada referensi, terlihat bahwa nilai V_p terukur masih termasuk dalam range nilai yang relevan dengan referensi. Secara umum batuan karbonat untuk formasi Oyo mempunyai nilai kecepatan primer yang lebih besar dibandingkan dengan batuan karbonat di formasi Wonosari. Hal ini dapat disebabkan oleh beberapa hal, pertama, kecepatan primer dipengaruhi oleh kepadatan material penyusun batuan, semakin rapat dan padat penyusunnya, maka gelombang akan merambat semakin cepat. Kedua, kecepatan primer juga sangat dipengaruhi oleh porositas batuan karbonat itu sendiri. Menurut Schoen, Semakin tinggi porositas suatu batuan, maka kecepatan primer akan cenderung menurun nilainya.

Hasil analisa petrologi menunjukkan bahwa batuan karbonat formasi Oyo secara umum mempunyai tingkat kekerasan yang lebih tinggi dibanding batuan karbonat di formasi Wonosari. Selain itu, kawasan Wonosari yang berada di Jawa bagian selatan terbukti mempunyai morfologi karst yang lebih berkembang dibandingkan dengan wilayah di sebelah utaranya (termasuk ke dalamnya formasi Oyo). Salah satu akibat dari proses karstifikasi adalah berkembangnya porositas sekunder batuan, sehingga dapat diasumsikan bahwa batuan di formasi batuan Wonosari cenderung lebih *porous* dibanding batuan di formasi Oyo. Faktor lain yang dapat meningkatkan nilai porositas sekunder dari batuan adalah rekristalisasi dolomit. Pembentukan dolomit dari mineral kalsit akan meningkatkan nilai porositas batuan. Hal ini dikarenakan dalam proses dolomitisasi, mineral aragonit yang juga bertindak sebagai semen karbonat akan terlarutkan selama proses dolomitisasi sehingga akan menyisakan ruang kosong (porositas sekunder).

Berdasarkan hasil uji laboratorium (SEM, EDX, dan XRD), diketahui bahwa terdapat indikasi dolomitisasi pada sampel batuan W3 dan W9. Hasil dari pengukuran kecepatan primer menunjukkan bahwa pada sampel dengan kode tersebut terjadi penurunan nilai kecepatan primer, sesuai dengan teori sebelumnya yang menyatakan bahwa dolomitisasi akan menaikkan porositas dan menurunkan nilai kecepatan primer batuan.

Parameter yang diamati selanjutnya adalah pengaruh struktur terhadap nilai kecepatan primer batuan. Hasil pengukuran menunjukkan bahwa batuan karbonat di formasi Oyo dan Wonosari keduanya sama-sama mengalami peningkatan nilai kecepatan primer untuk batuan yang mendapat pengaruh struktur lebih besar.

Struktur geologi yang berkembang di daerah penelitian adalah dua buah sesar mayor, yaitu sesar Punung dan sesar Grindulu. Suatu batuan apabila mendapat pengaruh struktur seperti sesar cenderung mengalami perubahan, seperti terbentuknya retakan (*crack*) sehingga menciptakan ruang baru antar partikel batuan. Secara teori retakan ini akan memperbesar porositas batuan,

sehingga kecepatan primer seharusnya mengalami penurunan nilai. Hasil pengukuran menunjukkan hal sebaliknya, nilai kecepatan primer semakin meningkat ketika batuan mendapat pengaruh struktur. Penulis mengasumsikan hal ini dikarenakan *crack* yang terbentuk telah terisi oleh mineral pengisi yang mempunyai kepadatan tinggi (dalam hal ini adalah mineral kalsit), sehingga terjadi peningkatan nilai kecepatan primer. Asumsi tersebut didukung dengan data lapangan yang menunjukkan adanya jejak pengisi kalsit pada kekar-kekar yang terbentuk pada singkapan.

Berbeda dengan mekanisme karstifikasi yang bisa berlangsung cepat dan kontinyu, pengaruh sesar terhadap batuan cenderung berlangsung lebih lambat. Zona lemah dalam batuan akan terpengaruh oleh adanya sesar sehingga terbentuk retakan maupun rekahan. Mekanisme pergerakan sesar yang lambat memberi cukup waktu untuk proses kristalisasi terjadi, sehingga mineral-mineral kalsit mengisi retakan dan rekahan pada batuan. Keberadaan kristal kalsit pada batuan karbonat berperan dalam meningkatkan nilai kecepatan primer batuan, sebab seperti yang dapat dilihat pada gambar 2.4, mineral kalsit memiliki nilai kecepatan primer yang jauh lebih tinggi, yaitu sekitar 6400 m/s. Pembuktian keberadaan mineral kalsit dapat dijelaskan lebih lanjut pada bagian selanjutnya.

4.4.2 Resistivitas

Berikut adalah hasil pengukuran resistivitas untuk mendapatkan nilai resistivitas batuan dalam satuan ohm meter. Batuan diukur dalam keadaan kering.

Tabel 4.14 Hasil pengukuran resistivitas sampel batuan karbonat

Kode Sampel	Dimensi (mm)		V(mV)	I (A)	Resistansi (Ohm)	Resistivitas (Ohm meter)
	Diameter	Tinggi				
O1	67,44	48,56	523	3,7	141351	3879,8
O1	68,74	66,54	487	7,8	62436	3156,9
OPS	47,48	46,27	506	6,07	83361	2950,7
OPS	67,41	40,38	511	2,5	204400	3881,1
OPS	68,04	53,65	493	4,3	114651	3807,4
OPS1	63,23	53,51	479	5,3	90377	3212,7
OPS1	67,49	49,2	502	4,7	106809	3007,2
OPS2	67,52	46,14	489	2,7	181111	4482,7
OTB	67,67	77,67	496	13,2	37576	2629,6

Kode Sampel	Dimensi (mm)		V(mV)	I (A)	Resistansi (Ohm)	Resistivitas (Ohm meter)
	Diameter	Tinggi				
OTB	67,72	62,42	504	8,7	57931	2616,4
OTB	67,66	73,14	508	6,71	75708	4698,8
OTB	66,41	60,99	497	4,8	103542	4552,7
OTB	57,27	52,82	486	5,3	91698	3506,7
OTB	67,41	50,7	491	4,4	111591	3340,3
OTB	67,38	53,33	513	3,4	150882	4999,4
OTB	67,6	40,21	505	3,75	134667	2528,4
OTB	67,35	52,17	490	3,7	132432	4201,1
W3	67,31	62,13	490	3,1	158065	7115,9
W3	67,82	65,17	509	3,4	149706	7359,5
W3	61,56	103,25	488	12,09	40364	5487,1
W3	67,69	59,57	507	2,4	211250	8693,5
W3	68,1	57,22	494	2,7	182963	6905,3
W3	67,65	71,53	506	4,4	115000	6827,7
W3	67,71	43,47	521	2,1	248095	5435,2
W4	67,6	55,72	508	3,2	158750	5723,5
W4	66,96	44,24	512	2,3	222609	5107,7
W5	66,98	68,13	519	4,09	126895	6903,1
W5	67,04	55,69	514	3,5	146857	5333,2
W6	66,79	57,48	525	2,4	218750	8494,5
W6	67,3	47,06	537	2,5	214800	5548,7
W9	68,26	67,15	516	2,68	192537	9984,1
W9	67,03	45,13	543	2,4	226250	5396,6

Pengukuran resistivitas ini menggunakan *resistivitymeter* dengan dua buah elektroda berupa paku besi. Pengukuran dilakukan berdasarkan prinsip penyaluran listrik melalui kabel berbentuk silinder. Pengukuran menghasilkan data arus listrik yang diinjeksikan dan potensial listrik yang terukur di antara kedua ujung batuan. Berdasarkan hukum ohm akan didapat nilai resistansi dan

resistivitas dari batuan yang diukur. Berikut adalah nilai resistivitas rata-rata dari setiap parameter batuan,

Tabel 4.15 Nilai rata-rata resistivitas batuan setiap parameter batuan

Parameter	ρ (Ωm)
Oyo Struktur	3547
Oyo Non Struktur	3675
Wonosari Struktur	6561
Wonosari Non Struktur	6832

Berdasarkan referensi (lihat gambar 2.3), nilai resistivitas batuan karbonat berkisar antara 100 hingga 10000 ohm meter, sedangkan dolomit bisa mencapai hampir 100 000 ohm meter. Keseluruhan hasil pengukuran terbukti masih relevan dengan referensi yang dipergunakan.

Parameter resistivitas batuan pada umumnya dipergunakan untuk mengetahui keberadaan fluida yang mengisi pori-pori batuan. Secara tidak langsung, parameter resistivitas juga berkaitan dengan porositas suatu batuan. Berdasarkan hasil pengukuran pada tabel di atas, terlihat bahwa secara umum batuan karbonat formasi Wonosari mempunyai nilai resistivitas yang lebih tinggi dibanding resistivitas batuan karbonat formasi Oyo.

Menurut Schoen, udara memiliki resistivitas yang tinggi (tidak terbatas), sementara air memiliki resistivitas yang rendah. Batuan berpori tentunya akan mempunyai resistivitas yang lebih tinggi apabila pori tersebut tersebut terisi oleh udara dibanding ketika pori tersebut terisi oleh air maupun mineral pengisi lainnya.

Batuan karbonat formasi Wonosari mempunyai resistivitas yang lebih tinggi karena pada formasi ini karstifikasi sudah berkembang dengan pesat, sehingga pelarutan berlangsung dengan cepat, sehingga banyak terbentuk ruang kosong di antara partikel batuan. Karstifikasi yang lebih cepat ini dapat disimpulkan dari analisa singkapan dan petrologi batuan. Ruang kosong ini menyebabkan naiknya nilai resistivitas batuan karbonat formasi Wonosari. Analogi dengan hasil pengukuran kecepatan primer pun menunjukkan hal yang sama, yaitu batuan karbonat Wonosari lebih *porous* dibanding formasi Oyo.

Batuan karbonat formasi Oyo yang umumnya tersusun atas batuan karbonat klastik berbutir halus telah termampatkan sehingga terbentuk batuan karbonat yang masif. Batuan karbonat klastik pun umumnya tidak mempunyai mineral karbonat semurni batuan karbonat terumbu (batuan karbonat formasi Wonosari), sehingga proses karstifikasi pun tidak berkembang dengan baik. Selain itu, batuan karbonat formasi Oyo terbentuk terlebih dahulu berdasarkan

sekuen stratigrafinya, tepatnya terendapkan pada miosen tengah di bawah endapan karbonat Wonosari. Tekanan dari lapisan batuan di atasnya berperan dalam membuat batuan karbonat mempunyai tekstur yang lebih padat dan masif. Sedikitnya pori pada batuan karbonat formasi Oyo menghasilkan pembacaan resistivitas yang lebih rendah pula dibandingkan dengan batuan karbonat Wonosari yang mempunyai banyak rongga.

Berdasarkan uji laboratorium untuk mengetahui mineralisasi batuan, diketahui bahwa terdapat mineral kuarsa yang jumlahnya lebih banyak untuk batuan yang berada di daerah penelitian bagian timur, sementara sampel batuan di bagian barat, kandungan kuarsa semakin sedikit. Menurut tabel resistivitas mineral di atas, mineral kuarsa memiliki nilai resistivitas yang lebih tinggi (2×10^{14} ohm meter) dibanding mineral kalsit (9×10^{13} ohm meter) maupun dolomit (4.3×10^{13} ohm meter). Sampel batuan yang mengandung kuarsa terbanyak adalah sampel OPS, dan yang paling sedikit adalah OTB dan W9, dimana pada kedua sampel tidak terdeteksi keberadaan mineral kuarsa. Secara teori keberadaan mineral kuarsa seharusnya akan menaikkan nilai resistivitas batuan, tetapi pada batuan karbonat, khususnya di wilayah Pringkuku ini, mineral kuarsa hanyalah sebagai mineral pengotor dengan konsentrasi dibawah 4%, sehingga tidak terlalu berpengaruh pada resistivitas total batuan. Berbeda dengan mineral dolomit, meskipun perbedaan nilai resistivitas antara dolomit dan kalsit tidaklah besar, tetapi keberadaan dolomit dapat mempengaruhi resistivitas batuan secara signifikan. Sebab, dalam proses pembentukan dolomit, akan terjadi rekristalisasi seiring dengan terlarutnya aragonit. Terlarutnya aragonit dalam sela-sela kristal batuan akan membentuk porositas sekunder. Porositas sekunder inilah yang akan mempengaruhi nilai resistivitas batuan secara signifikan. Dapat dilihat pada sampel W3 dan W9 yang menurut hasil uji mineralisasi menunjukkan adanya proses dolomitasi, keduanya mempunyai nilai resistivitas rata-rata yang lebih tinggi dibanding sampel lainnya.

Parameter yang diamati selanjutnya adalah pengaruh struktur terhadap nilai resistivitas batuan. Seperti yang telah dijelaskan pada pembahasan 4.5.2, pengaruh struktur pada batuan karbonat di wilayah penelitian telah terjadi dalam kurun waktu yang lama, sehingga ruang yang berupa retakan dan rekahan akibat pengaruh struktur telah terisi oleh kristal-kristal kalsit. Hal ini menyebabkan nilai resistivitas batuan karbonat, baik formasi Oyo maupun formasi Wonosari, yang terpengaruh oleh struktur mengalami penurunan dibandingkan dengan batuan yang lebih sedikit terpengaruh oleh struktur.

4.4.3 Densitas

Beriku adalah hasil pengukuran densitas sampel bantuan menggunakan alat *densitymeter*.

Tabel 4.16 Hasil pengukuran densitas sampel batuan

No	Nama Sampel	Massa Kering (gram)	Massa Basah (gr)	Densitas (kg/m ³)
1	OPS 1	20,445	12,02	2,419
2	OPS 2	20,585	12,405	2,508
3	OTB 1	17,74	10,25	2,359
4	OTB 2	6,84	3,74	2,203
5	W3-1	15,09	8,3	2,214
6	W3-2	17,88	9,925	2,239
7	W6-1	18,09	10,545	2,39
8	W6-2	15,7	8,705	2,237
9	W9-1	14,745	8,355	2,3
10	W9-2	24,55	13,905	2,298

Pengukuran densitas dilakukan berdasarkan prinsip Archimedes, data yang didapat berupa massa kering, massa basah (massa ketika batuan dicelupkan ke dalam air), dan densitas bulk batuan itu sendiri. Densitas batuan dipengaruhi oleh beberapa hal, diantaranya adalah : berat jenis mineral penyusun batuan, porositas, dan bahan pengisi porositas batuan. Berikut ini adalah nilai rata-rata densitas batuan untuk setiap parameter yang dicari,

Tabel 4.17 Nilai rata-rata densitas batuan untuk setiap parameter batuan

Parameter	ρ (kg/m ³)
Oyo Struktur	2,46
Oyo Non Struktur	2,28
Wonosari Struktur	2,31
Wonosari Non Struktur	2,23

Dibandingkan dengan tabel nilai densitas batuan karbonat pada referensi(seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.1) yang menunjukkan nilai 2,3 – 2,7 kg/m³, hasil pengukuran masih menunjukkan nilai yang relevan. Nilai densitas yang terukur menunjukkan bahwa batuan karbonat formasi Oyo mempunyai nilai densitas yang lebih besar dibandingkan dengan batuan

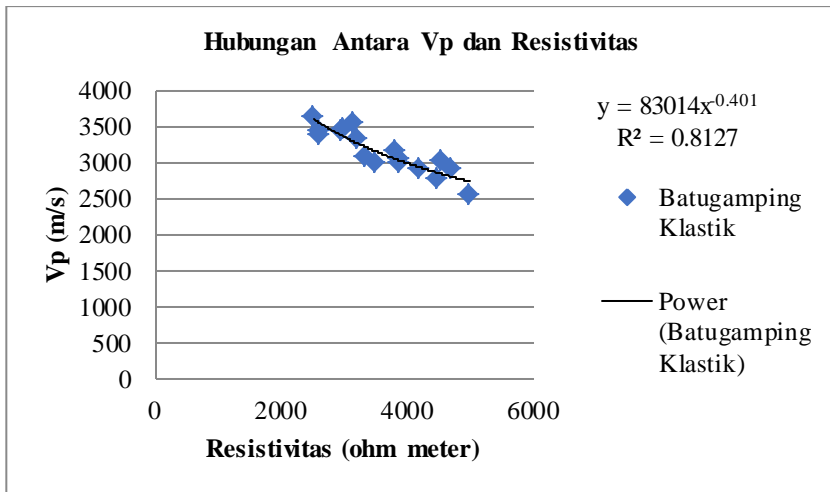
karbonat formasi Wonosari. Hal ini juga sesuai dengan interpretasi data parameter fisika yang lain, dimana batuan karbonat formasi Wonosari lebih berpori akibat perkembangan karstifikasi yang lebih baik. Pori yang terbentuk dari proses karstifikasi akan menurunkan nilai densitas, sementara sebaliknya, batuan karbonat formasi Oyo yang berupa karbonat klastik mempunyai butir batuan yang saling mengikat satu sama lain, selain itu, *overburden* juga membantu membuat batuan karbonat ini lebih masif dari keadaan normal.

Parameter selanjutnya adalah pengaruh struktur terhadap nilai densitas batuan yang diukur. Hasil pengukuran menunjukkan bahwa terjadi peningkatan nilai densitas untuk batuan yang terkena struktur. Sesuai dengan interpretasi sebelumnya, kristalisasi kalsit telah terbentuk mengisi zona-zona lemah yang terkena struktur. Kristal-kristal kalsit ini mempunyai densitas yang lebih tinggi (Menurut Olhoeft dan Johnson (1989) mineral kalsit memiliki densitas sekitar $2,71 \text{ kg/m}^3$) dibandingkan dengan mineral karbonat yang belum terkristalisasi.

4.5 Korelasi Antar Parameter Fisis Batuan Karbonat Pringkuku Pacitan

Nilai parameter fisis yang telah diukur dikorelasikan untuk mendapatkan hubungan matematis antar masing-masing parameter. Teknik korelasi yang digunakan adalah plot data dalam kurva dan melakukan regresi yang sesuai dengan *trendline* data. Parameter fisis yang akan dikorelasikan adalah parameter resistivitas dan kecepatan gelombang primer. Parameter densitas *bulk* tidak dapat dikorelasikan secara matematis karena diukur menggunakan sampel yang berbeda dimensinya.

Berikut adalah hasil *plotting* data kecepatan primer batuan karbonat Pringkuku terhadap nilai resistivitas dalam keadaan kering,



Gambar 4.16 Hubungan antara Vp dan resistivitas untuk satuan batuan karbonat klastik.

Didapat persamaan matematis yang menghubungkan antar kedua parameter, yaitu:

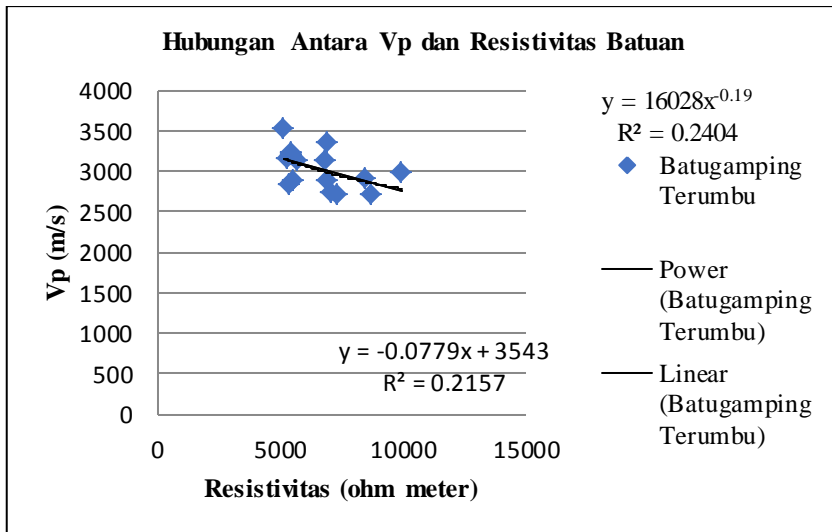
$$vp = 83014 \rho^{-0.401} \quad (4.1)$$

Dengan *fitting* kurva senilai 81,2 %.

Hubungan antara resistivitas dan kecepatan gelombang kompresional pernah dirumuskan oleh Faust dan Smith (E. R. (Ross) Crain, 2003) dimana keduanya menghitung nilai kecepatan gelombang kompresional melalui fungsi *power* dari log resistivitas dan kedalaman. Percobaan dari (Thariq Guntoro, Intan Putri, Ayi Syaeful Bahri, 2013) juga menggunakan fungsi *power* dari vp-resistivitas untuk memprediksi nilai log porositas.

Arah *trendline* yang tampak pada grafik menunjukkan adanya peningkatan nilai resistivitas batuan seiring dengan menurunnya nilai kecepatan primernya. Hal ini dapat disimpulkan bahwa hubungan antar kecepatan gelombang kompresional dan resistivitas adalah berbanding terbalik. Hubungan ini hanya berlaku untuk sampel batuan karbonat kering, dimana porositas batuan diisi oleh udara. Batuan karbonat klastik yang tersaturasi oleh air ataupun oil mungkin akan menunjukkan bentuk *trendline* yang berbeda.

Berikut adalah hasil *plotting* data resistivitas dan kecepatan gelombang kompresional untuk batugamping terumbu formasi Wonosari,



Gambar 4.17 Hubungan antara Vp dan resistivitas untuk satuan batuan batugamping terumbu

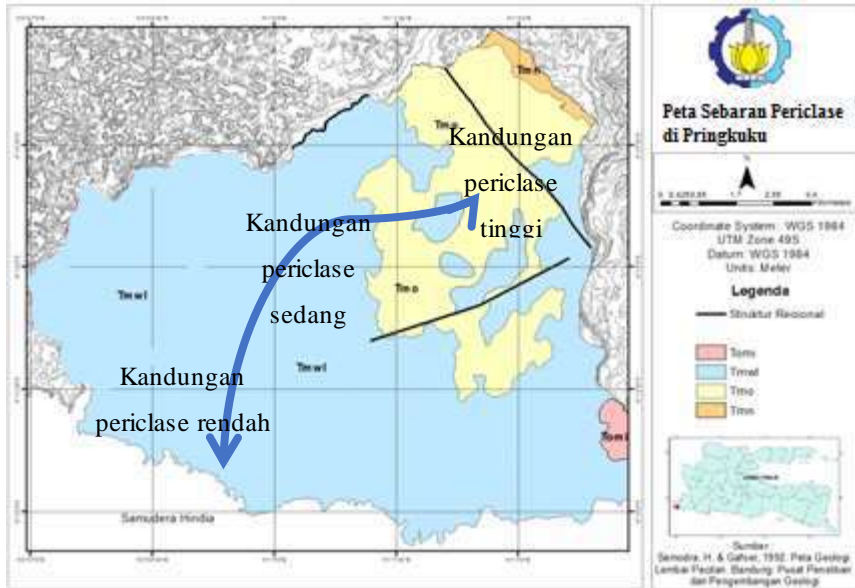
Menggunakan pendekatan regresi *power series* seperti yang diusulkan oleh Faust dan Smith, ternyata menghasilkan persamaan matematis dengan nilai *fit* yang rendah, yaitu 24%. Hal ini menunjukkan regresi power series tidak cocok digunakan untuk sampel batugamping terumbu yang diukur. Pendekatan lain seperti regresi linier pun juga menunjukkan nilai *fit* yang rendah, yaitu sekitar 21%.

Persebaran data yang acak dapat diartikan bahwa terdapat perbedaan kondisi fisis batuan yang cukup signifikan di setiap titik pengambilan sampel batuan. Keberagaman nilai fisis batuan ini dapat disebut sebagai anisotropi. Anisotropi pada batugamping terumbu utamanya terjadi karena proses pelarutan kimiawi yang terjadi secara acak.

Penyebab lain mengapa regresi menghasilkan *fit* yang buruk adalah kurangnya kuantitas data yang diambil. Ketika data yang dipetakan terlalu sedikit, *outlier-outlier* data akan memiliki rasio yang tinggi dibanding data yang valid. Hal ini akan mempengaruhi bentuk *trend* data secara keseluruhan.

4.6 Karakterisasi Batuan Karbonat Pringkuku Pacitan

Korelasi dari hasil uji laboratorium, citra SEM, dan uji petrofisika digunakan untuk mengkarakterisasi batuan karbonat di Kecamatan Pringkuku Pacitan.



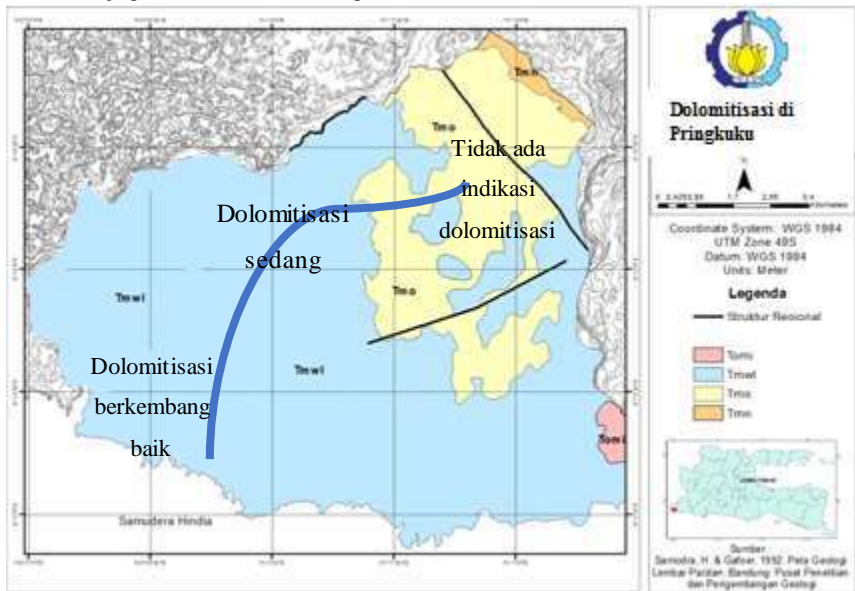
Gambar 4.18 Kandungan periclase di daerah Pringkuku Pacitan

Periclase pada batuan karbonat di kecamatan Pringkuku Pacitan ini bertindak sebagai mineral sekunder, artinya mineral ini tidak terbentuk pada saat genesa batuan, melainkan sebagai mineral pengotor ketika batuan diendapkan. Berdasarkan hasil uji XRD, terlihat bahwa kandungan silika pada sampel batuan karbonat terbanyak ada pada sampel OPS (formasi Oyo yang dipengaruhi oleh struktur), dan secara berkala berkurang untuk sampel-sampel yang berada bagian barat dan selatan.

Keterdapatan periclase ini menandakan adanya aktivitas magmatisme di daerah tersebut, sebab pada umumnya mineral kuarsa berasosiasi dengan batuan vulkanik. Formasi Oyo berbatasan dengan formasi batuan vulkanik di sebelah utaranya. Diduga bahwa mineral kuarsa ini berasal dari batuan vulkanik yang ada di timur laut, sehingga pengaruhnya pun semakin besar dari barat daya ke timur laut Pringkuku.

Periclase juga dapat mengindikasikan adanya aktivitas hidrotermal. Berdasarkan penelitian dari (Wijayanti, 2016) ditemukan manifestasi

hidrotermal di sekitar sesar punung dan sesar grindulu, tepatnya di formasi Oyo bagian timur laut. Periclase dapat berasosiasi dengan batuan karbonat melalui hidrotermal yang mengalir melalui jalur sesar Punung yang berarah timur laut-barat daya. Semakin jauh dari sumber hidrotermal, maka ketersediaan mineral Periclase juga semakin berkurang.

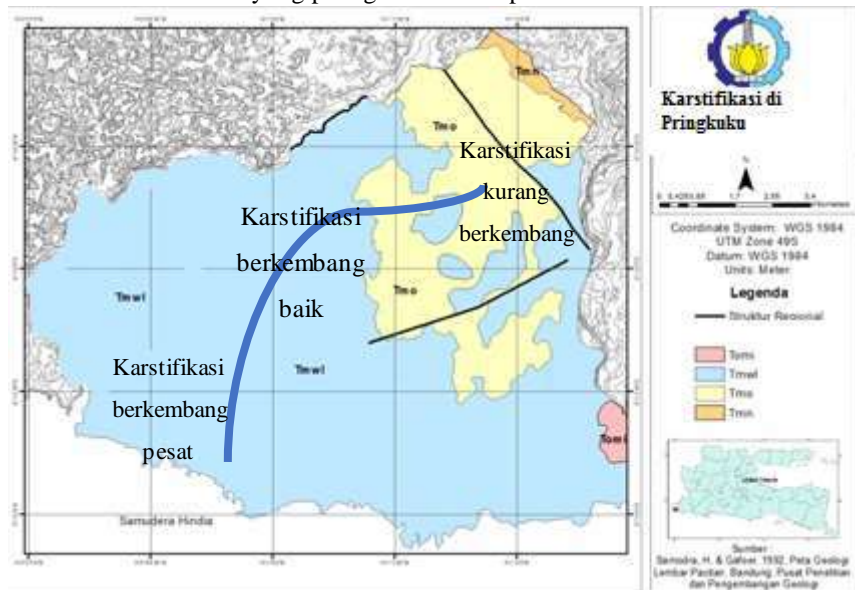


Gambar 4.19 Dolomitisasi di daerah Pringkuku Pacitan

Berdasarkan hasil dari XRD dan SEM-EDX, proses dolomitisasi terbesar terjadi di daerah Pringkuku bagian selatan (W3 dan W2), dan kemudian, terdapat pula indikasi proses dolomitisasi di daerah utara W3, tepatnya di area W9, sampel di area ini juga memiliki kandungan Mg yang tinggi. Namun, sampel-sampel di sekitar W9 yang lain (W4-W8) belum ditemukan adanya indikasi proses dolomitisasi. Sementara itu, Pringkuku bagian timur laut (formasi Oyo, dengan kode sampel OPS, O dan OTB), keseluruhannya tidak terindikasi adanya proses dolomitisasi, meskipun beberapa sampel memiliki kandungan Mg dalam jumlah dibawah 2%.

Dolomit merupakan mineral CaCO_3 yang lebih stabil dibandingkan dengan aragonit, vaterit, maupun kalsit. Dolomit akan terbentuk apabila terdapat kontak antara air yang kaya dengan Mg dengan batuan karbonat. Umumnya dolomit maupun dolostone terbentuk pada daerah dimana terjadi pertemuan antara air laut dengan air meteorik yang membawa air kaya Mg.

Daerah selatan yang paling dekat dengan laut dan paling jauh dari aktivitas struktur adalah daerah yang paling ideal untuk proses dolomitisasi.



Gambar 4.20 Derajat karstifikasi di daerah Pringkuku Pacitan

Berdasarkan dari hasil pengukuran petrofisika, dihubungkan dengan porositas sekunder batuan, maka diperoleh hasil sebagai berikut,

Tabel 4.18 Hubungan antara parameter fisika dengan derajat karstifikasi

Parameter	Densitas (kg/m ³)	Vp (m/s)	Resistivitas (ohm meter)	Porositas	Karstifikasi
Oyo Klastik-Struktur	2.46	3272	3547	*	*
Oyo Klasik-Non Struktur	2.28	2980	3675	**	**
Batugamping Terumbu Wonosari Struktur	2.31	3034	6561	***	***
Batugamping Terumbu Wonosari non Struktur	2.23	2880	6832	****	****

Simbol * menunjukkan nilai parameter dibanding dengan nilai datum lainnya, dengan **** menunjukkan nilai terbesar, sementara * merupakan nilai terendah.

Parameter densitas tidak bisa dihubungkan langsung dengan kedua parameter lainnya sebab sampel yang dipergunakan merupakan sampel yang berbeda, dengan ukuran yang jauh lebih kecil, sehingga tidak mewakili porositas batuan sampel. Nilai densitas dapat dipergunakan untuk menduga kemasifan batuan, sehingga secara sederhana, disimpulkan bahwa batuan formasi Oyo yang dipengaruhi struktur merupakan yang paling rapat (*dense*), sementara batuan karbonat formasi Oyo yang belum mendapat struktur adalah yang paling renggang. Pengaruh struktur dapat berperan disini, struktur geologi dapat mengcompress batuan sehingga jarak antar partikel batuan akan semakin rapat. Faktor lain yang dapat membuat batuan semakin masif adalah adanya *overburden* yang akan memberi tekanan pada tubuh batuan dan membuatnya semakin masif. Batuan formasi Oyo yang secara sekuen stratigrafi berada di bawah formasi Wonosari akan mengalami *overburden* dengan derajat tertentu.

Parameter fisika resistivitas dan kecepatan primer dapat digunakan untuk memprediksi derajat karstifikasi suatu batuan. Kecepatan primer yang tinggi menunjukkan bahwa batuan tersebut masif, sebab apabila terdapat rongga dalam tubuh batuan, gelombang ultrasonik akan merambat lebih lambat. Secara singkat, dari nilai kecepatan primer, dapat diduga bahwa batuan formasi wonosari mempunyai tingkat karstifikasi yang lebih berkembang. Pengukuran resistivitas juga mendukung data kecepatan primer ini. Ketika batuan diukur resistivitasnya dalam keadaan kering, maka semakin banyaknya ruang kosong dalam tubuh batuan, maka semakin tinggi pula nilai resistivitasnya.

Ruang kosong atau pori sekunder dalam tubuh batuan karbonat sebagian besar adalah akibat dari proses karstifikasi. Ini artinya batuan di sebelah selatan yang merupakan batuan karbonat formasi wonosari non struktur mempunyai karstifikasi yang lebih berkembang. Semakin ke utara dan semakin ke timur, derajat karstifikasi semakin berkurang.

Faktor-faktor pendukung karstifikasi berkembang baik di bagian selatan Pringkuku, diantaranya adalah, curah hujan yang tinggi dan topografi yang lebih tinggi dibandingkan dengan bagian utara Pringkuku. Singkapan-singkapan batuan pada bagian selatan juga nampak mengalami pelarutan yang lebih kompleks, sementara di bagian timur dan utara, indikasi pelarutan khas karst tidak berkembang.

Bagian barat-selatan dari wilayah Pringkuku mempunyai sungai bawah permukaan yang cukup melimpah. Topografi di daerah ini juga lebih berbukit-bukit, yang menandakan banyak terjadinya depresi yang membentuk dolina di sekitar area Pringkuku bagian barat-selatan. Kedua fenomena tersebut mendukung teori bahwa perkembangan karst di bagian barat-selatan lebih berkembang dibandingkan dengan di bagian timur-utara wilayah Pringkuku Pacitan.

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang dilakukan, dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut,

1. Nilai parameter fisis terukur untuk setiap parameter adalah sebagai berikut, untuk batuan karbonat formasi Oyo yang dipengaruhi struktur adalah 3272 m/s (kecepatan primer), 2,46 kg/m³ (densitas), dan 3547 ohm meter (resistivitas). Nilai parameter fisis batuan karbonat formasi Oyo yang tidak dipengaruhi struktur adalah 2980 m/s (kecepatan primer), 2,28 kg/m³ (densitas), dan 3675 ohm meter (resistivitas). Batuan karbonat formasi wonosari yang dipengaruhi struktur memiliki nilai parameter fisis 3034 m/s (kecepatan primer), 2,31 kg/m³ (densitas), dan 6561 ohm meter (resistivitas). Batuan karbonat formasi wonosari yang tidak dipengaruhi struktur memiliki nilai parameter fisis 2880 m/s (kecepatan primer), 2,23 kg/m³ (densitas), dan 6832 ohm meter (resistivitas).
2. Komposisi mineral yang teridentifikasi untuk batuan karbonat Pringkuku Pacitan adalah sebagai berikut; batu gamping terumbu formasi wonosari yang dipengaruhi struktur tersusun atas kalsit, periclase, dan kuarsa. Batu gamping terumbu wonosari yang tidak dipengaruhi struktur tersusun atas magnesium kalsit, dolomit, dan kuarsa. Batu gamping klastik formasi Oyo yang dipengaruhi oleh struktur tersusun atas kalsit, periclase, dan kuarsa. Terakhir, batu gamping klastik formasi Oyo yang tidak dipengaruhi oleh struktur tersusun atas kalsit dan periclase.
3. Karakteristik batuan karbonat Pringkuku bagian barat daya adalah sebagai berikut; karstifikasi tinggi dengan nilai porositas yang tinggi pula, mengalami proses dolomitisasi, dan mengandung sedikit periclase. Sementara untuk Pringkuku bagian timur laut proses karstifikasinya tidak berkembang dengan baik, batuan mengandung periclase, diduga terpengaruh oleh aktivitas magmatik di bagian utara, dan belum mengalami dolomitisasi.

5.2 Saran

Saran dari penulis untuk penelitian selanjutnya adalah sebagai berikut,

1. Mengukur sampel batuan dalam keadaan tersaturasi air untuk mengetahui perbedaan parameter fisis ketika sampel batuan kering dan sampel batuan basah.
2. Mengukur porositas sampel batuan untuk mengkonfirmasi besaran porositas dan pengaruhnya

DAFTAR PUSTAKA

- Adler, J. & Endar, B., 2007. Pengukuran Parameter Seismik dan Difraksi Sinar X (XRD) pada Batuan Karbonat Formasi Parigi.
- Badiozamani, K., 1973. The dorag dolomitization model, application to the middle Ordovician of Wisconsin. *Journal of Sedimentary Petrology*, 43(4).
- Bappeda, 2013. [Online] bappeda.jatimprov.go.id/bappeda/wpcontent/uploads/kab/kab-pacitan-2013.
- Boggs, S., 2009. *Petrology of Sedimentary Rocks*. New York: Cambridge University Press.
- Duda, R., dan Rejl, L., 1990. *MINERALS OF THE WORLD*. New York: Arch Cape Press.
- E. R. (Ross) Crain, P.E., 2003. *Crain's Petrophysical Handbook*. [Online] Available at: <https://www.spec2000.net/25-edit10.htm> [Accessed 19 July 2018].
- Geologi, P.P.d.P., 1992. *Peta Geologi Kabupaten Pacitan*. Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi.
- Habibi, M.R., 2017. *Karakterisasi Parameter Petrofisika dan Model 3D Reservoir Karbonat Menggunakan Micro Computed Tomography*. Yogyakarta: UIN Sunan Kalijaga.
- Hem, J., 1992. Study and interpretation of the chemical characteristics of natural water. *U.S Geological Survey Water-Supply Paper*, p.263.
- Hertanto, H.B., 2011. The Development Of Karst Area Ecotourism Object Potency In The West Pacitan Regency Of East java Province. *EKOSAINS*, 3(2).
- Hsu, K.J., 2004. *Physics of Sedimentology: Textbook and Reference*. 2nd ed. Springer Science & Business Media.
- Machel, Hans-G., Mountjoy, dan Eric W, 1986. Chemistry and Environments of Dolomitization —A Reappraisal. *Earth Science Reviews*, 23.
- Permadi, R., 2014. Potensi Situs-Situs Warisan Geologi di Area Kars Gunung Sewu.
- Samodra, H. & Gafoer, S., n.d. *Laporan Geologi Lembar Pacitan, Skala 1:100.000*. Bandung: Puslitbang Geologi.
- Samodra, H. & Gafoer, S., 1990. *Laporan Geologi Lembar Pacitan, skala 1:100.000*. Bandung: Puslitbang Geologi. Laporan Terbuka.
- Schoen, J.H., 2011. *Physical Properties of Rock*. UK: Elsevier.
- Suharyana, 2012. *Dasar-Dasar dan Pemanfaatan Metode Difraksi Sinar-X*. Surakarta: Universitas Sebelas Maret.

- Surono, 1992. *Laporan Geologi Lembar Surakarta-Girintoro, skala 1:100.000*. Laporan Terbuka ed. Bandung: Puslitbang Geologi.
- Suyoso, 2003. *Listrik Magnet*. Jogjakarta: FMIPA UNY.
- Telford W.M., Geldart L.P., Sheriff R.E., 1990. *Applied Geophysics*. Cambridge University Press.
- Thariq Guntoro, Intan Putri, Ayi Syaeful Bahri, 2013. Petrophysical Relationship to Predict Synthetic Porosity Log. *Search and Discovery Article*.
- Trewin, N., 1988. Use of the scanning electron microscope in sedimentology. pp.229-73.
- Van Bemelen, R.W., 1949. *The Geology of Indonesia Vol IA, General Geology of Indonesia and Adjacent Archipelagoes, 2nd*. Netherland.

Lampiran



Gambar 1. Stasiun W1



Gambar 2. Stasiun W2



Gambar 3. Stasiun W3



Gambar 4. Stasiun W4



Gambar 5. Stasiun W5



Gambar 6. Stasiun W6



Gambar 7. Stasiun W7



Gambar 8. Stasiun W8



Gambar 9. Stasiun W9



Gambar 10. Stasiun O1



Gambar 11. Stasiun OPS 1



Gambar 12. Stasiun OPS 2



Gambar 13. Stasiun OAT



Gambar 14. Stasiun OTB



Gambar 15. Proses *coring* batuan



Gambar 16. Hasil *coring* batuan



Gambar 16. Proses *Grinding* sampel batuan



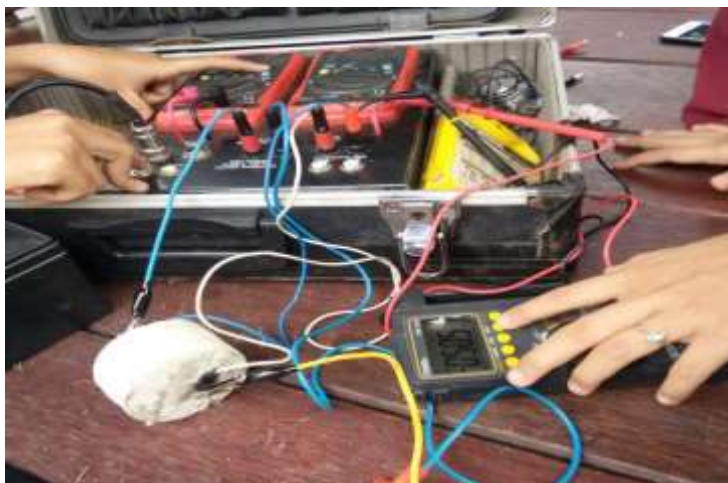
Gambar 17. Sampel uji SEM-EDX dan XRD



Gambar 18 Sampel uji densitas



Gambar 19. Uji kecepatan primer



Gambar 20. Uji resistivitas batuan



Gambar 21. Uji densitas batuan

BIOGRAFI PENULIS



Lahir di kota Jombang pada 04 Agustus 1995, dengan nama Miftakhur Rahmat. Pendidikan formasl penulis dimulai di TK Dharma Wanita Plumbon Gombang, SDN Plumbon Gombang II pada tahun 2002 sampai 2008, SMP Negeri 1 Gudo pada tahun 2008 sampai 2011 dan SMA Negeri 3 Jombang dari tahun 2011 sampai 2014. Dimulai pada tahun 2014, penulis resmi menjadi mahasiswa S1 Teknik Geofisika di Insititut Teknologi Sepuluh Nopember.

Selama menjadi mahasiswa Teknik Geofisika ITS banyak pengalaman yang telah penulis dapatkan, baik softskill maupun hardskill. Pada periode tahun 2015/2016 dan 2016/2017 penulis aktif sebagai staff Keluarga Muslim Teknik Geofisika. Penulis juga telah melakukan kerja praktik dengan topik ‘Pengolahan Data 2D Seismik Laut’ di Lembaga Minyak dan Gas Bumi pada tahun 2017.